CÉDRIC VILLANI

Mathématicien et député de l'Essonne

DONNER UN SENS À L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

POUR UNE STRATÉGIE NATIONALE ET EUROPÉENNE

Composition de la mission

Marc Schoenauer Directeur de recherche INRIA • **Yann Bonnet** Secrétaire général du Conseil national du numérique • **Charly Berthet** Responsable juridique et institutionnel du Conseil national du numérique • **Anne-Charlotte Cornut** Rapporteur au Conseil national du numérique • **François Levin** Responsable des affaires économiques et sociales du Conseil national du numérique • **Bertrand Rondepierre** Ingénieur de l'armement, Direction générale de l'armement.

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

**Mission confiée
par le Premier Ministre
Édouard Philippe**

Mission parlementaire
du 8 septembre 2017
au 8 mars 2018

Avec l'appui de **Anne-Lise Meurier, Zineb Ghafoor, Candice Foehrenbach, Stella Biabiany-Rosier, Camille Hartmann, Judith Herzog, Marylou Le Roy, Jan Krewer, Lofred Madzou et Ruben Narzul.**

Cédric Villani



Comme bien d'autres adolescents férus de sciences dans les années 80, j'ai fait la connaissance de l'intelligence artificielle dans les superbes ouvrages de vulgarisation de Douglas Hofstadter, qui mettait en scène Alan Turing avec une passion contagieuse.

Mais comme bien des mathématiciens débutant la carrière dans les années 90, j'ai profondément sous-estimé l'impact de l'intelligence artificielle, qui ne donnait finalement, à cette époque, que peu de résultats. Quelle surprise ce fut d'assister, dans les années 2010, à l'incroyable amélioration de ses performances... Devenu moi-même vulgarisateur, je me suis mis à développer le sujet régulièrement, dans mes conférences publiques comme dans mes échanges avec le monde de l'entreprise. Et ce fut une surprise non moins grande de voir mes ouvrages de recherche sur le transport optimal cités dans des articles récents sur l'intelligence artificielle : comme un signe qu'il m'était impossible d'échapper à ce sujet polymorphe ! Du reste, depuis quelques années plus personne ne peut y échapper, tant il est devenu omniprésent dans les discussions économiques et sociales.

Aussi ai-je été à peine surpris quand le Premier ministre me confia une mission d'information sur la stratégie française et européenne en intelligence artificielle. Le défi était grand, mais mon enthousiasme considérable. Pour les orientations de départ, j'ai bénéficié du plein soutien du secrétaire d'État au numérique, Mounir Mahjoubi, et de l'expertise de mes collègues spécialistes dans le domaine, à commencer par mon ancien collaborateur Yann Ollivier.

Avec leur aide, et avec le soutien des institutions d'État, j'ai pu mettre en place une équipe comme on en rêve : sept personnes extrêmement compétentes, investies à temps plein, aux profils variés. Cette étape était cruciale, tant on sait combien les ressources humaines sont la première condition de succès de tout projet.

Pour démarrer notre réflexion, nous pouvions nous appuyer sur d'excellentes sources ; en particulier le rapport France IA, initié par Axelle Lemaire, le rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), rendu par mes collègues parlementaires Claude de Ganay et Dominique Gillot, ainsi que les remarquables travaux de la CNIL, sur l'éthique des algorithmes, et du Conseil d'orientation pour l'emploi. France Stratégie a également apporté son concours. Les contributions se sont multipliées, et rapidement la quantité de matériaux à digérer est apparue considérable ! Mais ensemble, nous avons pu collecter et synthétiser les quantités d'information fournies par les centaines d'experts, et par les milliers de citoyens qui ont apporté leur contribution à la réflexion – à ce sujet je remercie chaleureusement l'association Parlement & Citoyens qui a pu monter une plateforme de consultation en ligne dans des délais records !

L'intelligence artificielle ne peut se penser dans un cadre seulement national ; et cette mission a aussi été l'occasion de visites, aussi brèves qu'intenses, dans des lieux inspirants à l'étranger : Palo Alto, Beijing, Berlin, Ratisbonne, Londres, Zürich, Bologne, Lisbonne, Tel-Aviv et Haïfa. La logistique de ces visites a fait intervenir de nombreux acteurs institutionnels efficaces, que je remercie avec gratitude. Inutile de dire que les lieux inspirants français ont aussi été au rendez-vous, avec une mention spéciale pour The Camp, près d'Aix-en-Provence, qui a hébergé notre mission durant quelques jours.

Passionnante par la variété de sujets qu'elle nous a menés à étudier, cette mission a aussi été l'occasion de travailler, six mois durant, en collaboration avec tous les acteurs de la société, depuis les sciences exactes et humaines jusqu'aux administrations, en passant par les entrepreneurs, les journalistes et des auteurs de science-fiction talentueux – merci à Anne-Caroline Paucot et Olivier Paquet, qui ont gentiment accepté que nous intégrions quelques-unes de leurs nouvelles au rapport. À travers ces confrontations multiples, l'intelligence artificielle s'est affirmée à nos yeux comme un sujet universel, se déclinant dans d'infinies variations, qui doit s'aborder de façon systémique.

Nous avons d'ailleurs l'intention de compléter ce rapport – rédigé pour conseiller le gouvernement avec l'action et l'efficacité en ligne de mire – par une version plus pédagogique, susceptible d'intéresser un public aussi large que possible, insistant davantage sur l'histoire, les attentes et les mystères de ce domaine.

C'est dans la synergie, nous en sommes convaincus, que notre nation, et notre continent, pourront se lancer avec confiance et détermination dans cette révolution naissante.

Sommaire

Introduction page 8

Synthèse page 14

Partie 1 –
Une politique économique articulée autour de la donnée page 24

Renforcer l'écosystème européen de la donnée page 26

Inciter les acteurs économiques à la mutualisation de données page 29

Organiser l'ouverture au cas par cas de certaines données détenues par des entités privées page 33

Favoriser sans attendre les pratiques de fouille de texte et de données (TDM) page 35

Mettre en œuvre la portabilité dans une visée citoyenne page 36

Réformer le cadre international applicable aux transferts de données page 38

Consolider et rendre visible l'écosystème français de l'IA page 38

Créer un guichet unique d'information sur l'IA page 39

Créer des labels pour augmenter la visibilité de l'offre domestique en IA page 39

Consolider les filières d'acheteurs page 40

Faire levier sur la commande publique page 43

Ajuster les seuils d'application de la réglementation aux niveaux européens page 43

Mettre l'achat public au service du soutien à la base industrielle européenne page 44

Dynamiser l'achat public innovant page 44

Mettre en place une protection de l'acheteur public pour l'inciter à l'ingénierie contractuelle page 45

Généraliser l'emploi des exceptions à l'ordonnance sur les marchés publics page 45

Un choix clair : mettre l'accent sur quatre secteurs stratégiques page 46

Mener une politique sectorielle autour de grands enjeux page 48

Expérimenter des plateformes sectorielles page 53

Mettre en place des bacs à sable d'innovation page 55

Mettre en œuvre une politique de la donnée adaptée à chaque secteur page 56

Initier une dynamique industrielle européenne de l'IA page 57

Développer la robotique européenne page 57

Faire du développement de l'IA pour le transport une priorité de la future agence d'innovation de rupture page 58

Innover dans l'industrie du composant adapté à l'IA page 58

Accélérer la mise en place d'infrastructures européennes en IA page 60

Transformation de l'État, État exemplaire page 62

Installer un coordinateur interministériel pour la mise en œuvre de la stratégie page 62

Créer un pôle de compétences mutualisées en IA dans l'État page 63

Intégrer l'IA dans la stratégie numérique de l'État page 64

Partie 2 –
Pour une recherche agile et diffusante page 72

Créer un réseau d'Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle page 75

Mailler le territoire et les domaines de recherche page 76

Réunir chercheurs, étudiants et entreprises page 79

Installer une coordination nationale page 85

Amorcer le processus par un appel à projets page 86

Intégrer ce réseau dans l'espace européen de la recherche en IA page 87

Des moyens de calcul pour la recherche page 88

Développer un supercalculateur pour les besoins de la recherche page 89

Négocier un pass dans un cloud privé pour la recherche page 89

Rendre plus attractives les carrières dans la recherche publique page 90

Revaloriser les carrières d'enseignants chercheurs et de chercheurs, en particulier en début de carrière page 90

Augmenter l'attractivité de la France pour les talents expatriés ou étrangers page 90

Former plus de spécialistes de haut niveau en IA page 90

Fluidifier et amplifier les échanges académie-industrie page 91

Encourager le travail partagé académie-industrie page 91

Prendre en compte les périodes de travail dans l'industrie dans la reconstitution de carrière page 91

Nommer des chercheurs en IA dans les conseils d'administration page 91

Résoudre le problème du partage de la propriété intellectuelle page 92

Encourager la création de startups par les chercheurs page 92

Encourager par le co-financement la création de chaires industrielles page 92

Partie 3 –
Anticiper et maîtriser les impacts sur le travail et l'emploi page 100

Anticiper les impacts sur l'emploi et expérimenter page 107

Créer un lab public de la transformation du travail page 107

Cibler certains dispositifs sur les emplois à plus haut risque d'automatisation page 109

Financer des expérimentations page 112

Développer la complémentarité au sein des organisations et encadrer les conditions de travail page 112

Développer un indice de bonne complémentarité à destination des entreprises page 112

Intégrer pleinement la transformation numérique dans le dialogue social page 113

Lancer un chantier législatif sur les conditions de travail à l'heure de l'automatisation page 114

Amorcer une transformation de la formation initiale et continue pour favoriser l'apprentissage de la créativité page 114

Favoriser la créativité et les pédagogies innovantes page 116

Créer une plateforme de mise en valeur des porteurs de pédagogies innovantes page 116

Donner du temps et des moyens aux porteurs d'innovations pédagogiques page 117

Expérimenter de nouveaux modes de financement de la formation professionnelle pour tenir compte des transferts de valeur page 117

Former des talents en IA, à tous niveaux page 119

Multiplier par trois le nombre de personnes formées en IA page 119

Renforcer l'éducation en mathématiques et en informatique page 121

Partie 4 –
L'intelligence artificielle au service d'une économie plus écologique page 122

Inscrire le sujet à l'agenda international page 125

Favoriser la convergence de la transition écologique et du développement de l'IA page 125

Mettre en place un lieu dédié à la rencontre de la transition écologique et de l'IA page 125

Sommaire

Mettre en place une plateforme au service de la mesure de l'impact environnemental des solutions numériques intelligentes page 127

Penser une IA moins consommatrice d'énergie page 127

Agir pour le verdissement de la chaîne de valeur des centres de données page 128

Soutenir les démarches écologiques chez les fournisseurs de cloud européens page 128

Libérer la donnée écologique page 130

Libérer la donnée publique page 131

Libérer la donnée privée page 131

Partie 5 – Quelle éthique de l'IA ? page 138

Ouvrir la boîte noire page 140

Développer l'audit des IA page 143

Développer l'évaluation citoyenne des IA page 144

Soutenir la recherche sur l'explicabilité page 145

Penser l'éthique dès la conception page 146

Intégrer l'éthique dans la formation des ingénieurs et chercheurs en IA page 146

Instaurer une étude d'impact sur les discriminations (discrimination impact assessment) page 147

Penser les droits collectifs sur les données page 148

Rendre l'action de groupe effective page 149

Comment garder la main ? page 149

Police prédictive page 150

Les systèmes d'armes létales autonomes page 152

Une gouvernance spécifique de l'éthique en intelligence artificielle page 155

Partie 6 – Pour une intelligence artificielle inclusive et diverse page 162

Mixité et diversité : agir pour l'égalité page 163

Une action forte : un objectif de 40 % d'étudiantes dans les filières du numérique page 166

Une action nationale en faveur de la mixité dans la technologie page 168

Mettre en place une base de données nationale sur les inégalités entre les femmes et les hommes au travail page 170

Promouvoir la transparence des processus de recrutement et de promotion page 171

Réserver des fonds en faveur de la diversité page 172

Développer la médiation numérique et l'innovation sociale pour que l'IA bénéficie à tous page 172

Activer l'accès aux droits fondamentaux et aux services publics page 173

Soutenir les innovations sociales basées sur l'IA page 177

Focus sectoriels page 183

Focus 1 – Transformer l'éducation page 184

Enseigner à l'heure à l'IA page 185

Développer une complémentarité capacitante avec l'IA en renforçant la place de la créativité dans l'enseignement page 186

Développer la maîtrise de l'apprenant sur ses données d'apprentissage en lien avec son équipe pédagogique page 187

Accompagner la transformation des relations sociales d'apprentissage et des métiers de l'enseignement page 188

Transformer les politiques éducatives grâce à l'intelligence artificielle page 189

Mobiliser le potentiel de l'IA pour lutter contre les décrochages et faciliter l'orientation page 189

Soutenir le développement d'un écosystème Edtech en phase avec les valeurs de notre système éducatif page 190

Accompagner la transformation des métiers au sein du Ministère page 192

Focus 2 – La santé à l'heure de l'IA page 194

L'IA au service de la médecine page 195

Une réorganisation des pratiques médicales autour du patient page 197

Fluidifier les expérimentations en temps réel avec les patients et professionnels de santé page 199

L'IA au service des politiques de santé page 199

Mieux anticiper et cibler les politiques de santé page 199

Assurer une veille de la donnée de santé page 200

Mettre en place une plateforme pour le système de santé adaptée aux usages liés à l'IA page 200

Réguler l'innovation en santé à l'heure de l'IA page 203

Focus 3 – Faire de la France un leader de l'agriculture augmentée page 204

À court terme : préserver nos capacités stratégiques et soutenir l'innovation agricole page 205

Favoriser le dialogue entre les agriculteurs et l'industrie agroalimentaire pour faire émerger de nouveaux modèles de valeur page 205

Développer les soutiens à la recherche pour le développement de la robotique et des capteurs agricoles page 206

Garantir la couverture réseau nécessaire à une agriculture connectée page 206

Intensifier les efforts sur la standardisation et l'interopérabilité page 207

Outiller les démarches collectives de négociations sur les données des exploitations page 207

À moyen terme : distribuer plus largement les capacités d'exploitation des données page 208

Faire passer à l'échelle les initiatives de mutualisation et les services innovants aux exploitations page 208

Développer les capacités numériques des agriculteurs, au service de la souveraineté technologique française page 209

Focus 4 – Une politique d'innovation de rupture dans le secteur du transport au niveau européen page 210

Une coopération franco-allemande sur l'innovation de rupture page 212

Des plateformes de mutualisation européennes autour des mobilités page 212

Des échéances ambitieuses pour l'autorisation des véhicules autonomes en Europe page 214

Une politique de la donnée offensive page 214

Focus 5 – L'IA au service de la défense et de la sécurité page 218

La nécessité d'une IA régalienne et ses spécificités page 220

La mise en place d'un environnement propice à l'expérimentation et au développement de l'IA page 222

Une gouvernance et un cadre à consolider page 224

Personnes auditionnées page 226

Contributions reçues page 230

La mission page 232

Introduction

Introduction

Définir l'intelligence artificielle n'est pas chose facile. Depuis ses origines comme domaine de recherche spécifique, au milieu du XXe siècle, elle a toujours constitué une frontière, incessamment repoussée. L'intelligence artificielle désigne en effet moins un champ de recherches bien défini qu'un programme, fondé autour d'un objectif ambitieux : comprendre comment fonctionne la cognition humaine et la reproduire ; créer des processus cognitifs comparables à ceux de l'être humain.

Le champ est donc naturellement extrêmement vaste, tant en ce qui concerne les procédures techniques utilisées que les disciplines convoquées : mathématiques, informatiques, sciences cognitives… Les méthodes d'IA sont très nombreuses et diverses (ontologique, apprentissage par renforcement, apprentissage adversarial, réseaux de neurones…) et ne sont pas nouvelles : beaucoup d'algorithmes utilisés aujourd'hui ont été développés il y a plusieurs dizaines d'années.

Depuis la conférence de Dartmouth de 1956, l'intelligence artificielle s'est développée, au gré des périodes d'enthousiasme et de désillusion qui se sont succédées, repoussant toujours un peu plus les limites de ce qu'on croyait pouvoir n'être fait que par des humains. En poursuivant son projet initial, la recherche en IA a donné lieu à des vrais succès (victoire au jeu d'échecs, au jeu de go, compréhension du langage naturel…) et a nourri largement l'histoire des mathématiques et de l'informatique : combien de dispositifs que nous considérons aujourd'hui comme banals étaient à l'origine une avancée majeure en IA – une application de jeux d'échecs, un programme de traduction en ligne… ?

Du fait de ses ambitions, qui en font un des programmes scientifiques les plus fascinants de notre époque, la discipline de l'IA s'est toujours développée de concert avec les imaginaires les plus délirants, les plus angoissants et les plus fantastiques, qui ont façonné les rapports qu'entretient le grand public avec l'IA mais également ceux des chercheurs eux-mêmes avec leur propre discipline. La (science) fiction, les fantasmes et les projections collectives ont accompagné l'essor de l'intelligence artificielle et guident parfois ses objectifs de long terme : en témoignent les productions fictionnelles abondantes sur le sujet, de *2001 l'Odyssée de l'espace*, à *Her* en passant *Blade Runner* et une grande partie de la littérature de science-fiction. Finalement, c'est probablement cette alliance entre des projections fictionnelles et la recherche scientifique qui constitue l'essence de ce qu'on appelle l'IA. Les imaginaires, souvent ethno-centrés et organisés autour d'idéologies politiques sous-jacentes, jouent donc un rôle majeur, bien que souvent négligé, dans la direction que prend le développement de cette discipline.

L'intelligence artificielle est entrée, depuis quelques années, dans une nouvelle ère, qui donne lieu à de nombreux espoirs

L'intelligence artificielle est entrée, depuis quelques années, dans une nouvelle ère, qui donne lieu à de nombreux espoirs. C'est en particulier dû à l'essor de l'apprentissage automatique. Rendues possibles par des algorithmes nouveaux, par la multiplication des jeux de données et le décuplement des puissances

de calcul, les applications se multiplient : traduction, voiture autonome, détection de cancer,… Le développement de l'IA se fait dans un contexte technologique marqué par la « mise en données » du monde (*datafication*), qui touche l'ensemble des domaines et des secteurs, la robotique, la *blockchain*[1], le supercalcul et le stockage massif. Au contact de ces différentes réalités technologiques se jouera sûrement le devenir de l'intelligence artificielle.

1. La *blockchain* correspond à un registre distribué qui permet d'éviter de recourir à un tiers de confiance lors de transactions et qui est notamment au fondement du *bitcoin*.

Ces applications nouvelles nourrissent de nouveaux récits et de nouvelles peurs, autour, entre autres, de la toute-puissance de l'intelligence artificielle, du mythe de la Singularité et du transhumanisme. Depuis quelques années, ces représentations sont largement investies par ceux qui la développent et participent à en forger les contours. Le cœur politique et économique de l'intelligence artificielle bat toujours dans la Silicon Valley, qui fait encore office de modèle pour tout ce que l'Europe compte d'innovateurs. Plus qu'un lieu, davantage qu'un écosystème particulier, elle est, pour beaucoup d'acteurs publics et privés, un état d'esprit qu'il conviendrait de répliquer. La domination californienne, qui subsiste dans les discours et dans les têtes, nourrit l'idée d'une voie unique, d'un déterminisme technologique. Si le développement de l'intelligence artificielle est pensé par des acteurs privés hors de nos frontières, la France et l'Europe n'auraient d'autre choix que de prendre le train en marche. Les illustrations sont nombreuses : rien qu'en France, l'accord signé entre Microsoft et l'éducation nationale sous le précédent quinquennat ou l'utilisation par la DGSI de logiciels fournis par Palantir, une startup liée à la CIA, ne disent finalement pas autre chose. On observe la même tentation chez les entreprises européennes qui, persuadées d'avoir déjà perdu la course, cèdent bien souvent aux sirènes des géants de la discipline, parfois au détriment de nos pépites numériques.

Contrairement aux dernières grandes périodes d'emballement de la recherche en intelligence artificielle, le sujet a très largement dépassé la seule sphère scientifique et est sur toutes les lèvres. Les investissements dans la recherche et dans l'industrie atteignent des sommes extraordinaires, notamment en Chine. Les responsables politiques du monde entier l'évoquent dans les discours de politique générale comme un levier de pouvoir majeur : l'emblématique interview à Wired de Barack Obama en octobre 2016 montrait que ce dernier avait bien compris l'intérêt de faire de l'avance américaine en intelligence artificielle un outil redoutable de *soft power*. Le Président russe Vladimir Poutine a quant à lui affirmé que « celui qui deviendra le leader dans ce domaine sera le maître du monde », comparant l'intelligence artificielle aux technologies nucléaires. S'il s'agissait vraisemblablement pour lui de compenser le retard de la Russie en matière d'intelligence artificielle par un discours musclé sur le sujet, cette affirmation est révélatrice de l'importance géostratégique prise par ces technologies. Dans la mesure où les chaînes de valeur, surtout dans le secteur numérique, sont désormais mondiales, les pays qui seront les leaders dans le domaine de l'intelligence artificielle seront amenés à capter une grande partie de la valeur des systèmes qu'ils transforment, mais également à contrôler ces mêmes systèmes, mettant en cause l'indépendance des autres pays.

C'est que l'intelligence artificielle va désormais jouer un rôle bien plus important que celui qu'elle jouait jusqu'alors. Elle n'est plus seulement un programme

de recherche confiné aux laboratoires ou à une application précise. Elle va devenir une des clés du monde à venir. En effet nous sommes dans un monde numérique, de plus en plus, de part en part. Un monde de données. Ces données qui sont au cœur du fonctionnement des intelligences artificielles actuelles. Dans ce monde-là, qui est désormais le nôtre, ces technologies représentent beaucoup plus qu'un programme de recherche : elles déterminent notre capacité à organiser les connaissances, à leur donner un sens, à augmenter nos facultés de prise de décision et de contrôle des systèmes. Et notamment à tirer de la valeur des données. L'intelligence artificielle est donc une des clés du pouvoir de demain dans un monde numérique.

Voilà pourquoi il est d'intérêt général que nous nous saisissions collectivement de cette question. Et que la France et l'Europe puissent faire entendre leur voix. Il est nécessaire de tout faire pour rester indépendants. Or la concurrence est rude : les États-Unis et la Chine sont à la pointe de ces technologies et leurs investissements dépassent largement ceux consentis en Europe. Le Canada, le Royaume-Uni et, tout particulièrement, Israël, tiennent également une place essentielle dans cet écosystème naissant. Parce qu'à bien des égards, la France et l'Europe peuvent déjà faire figure de « *colonies numériques* »[2], il est nécessaire de ne céder à aucune forme de déterminisme, en proposant une réponse coordonnée au niveau européen.

2. Cette expression, traduite de l'anglais « cybercolonization », est issue d'un rapport d'information de Catherine MORIN-DESAILLY fait au nom de la commission des affaires européennes en 2013 (« L'Union européenne, colonie du monde numérique ? »).

C'est pourquoi le rôle de l'État doit être réaffirmé : le jeu du marché seul montre ses limites pour assurer une véritable politique d'indépendance. De plus les règles qui régissent les échanges internationaux et l'ouverture des marchés intérieurs ne servent pas toujours les intérêts économiques des États européens – qui l'appliquent trop souvent à sens unique. Plus que jamais, l'État doit donner un sens au développement de l'intelligence artificielle. Donner un sens, c'est-à-dire donner un cap, une signification et des explications. Voilà l'objectif de ce rapport.

Donner un sens, c'est tout d'abord donner un cap. C'est l'objectif de la structuration proposée pour la politique industrielle : quatre secteurs prioritaires sont définis, la santé, l'écologie, les transports-mobilités et la défense-sécurité. Ces secteurs présentent plusieurs caractéristiques : ils sont au service de l'intérêt général et des grands défis de notre époque, ils peuvent constituer un avantage comparatif de la France et de l'Europe et ils ont besoin d'une intervention de l'État pour se structurer. Le développement de ces secteurs se fera *via* des concours d'innovation spécifiques et précis, qui fixeront les objectifs prioritaires, mais également grâce une politique offensive de la donnée. Les données, au cœur du développement de l'IA, bénéficient aujourd'hui souvent à une poignée de très grands acteurs, qui tendent à enfermer les capacités d'innovation dans les limites de leurs entreprises toujours plus puissantes. Ce n'est qu'au prix d'une plus grande circulation de ces données, pour en faire bénéficier les pouvoirs publics, mais aussi les acteurs économiques les plus petits, qu'il sera possible de rééquilibrer les rapports de forces.

Donner un sens, c'est-à-dire donner un cap, une signification et des explications. Voilà l'objectif de ce rapport

La France tient une place décisive dans la recherche en IA : des chercheurs français ont participé à fonder l'IA moderne et l'école mathématique et informatique française rayonne dans le monde entier. Néanmoins l'hémorragie est toujours plus importante : chaque semaine des chercheurs sont recrutés par les entreprises privées et souvent étrangères et quittent les laboratoires publics. Il faut donc redonner à la recherche publique les moyens de ses ambitions, au cœur d'un dispositif allant de la formation au transfert et à l'innovation.

Enfin le développement économique du secteur de l'intelligence artificielle doit mettre en son cœur la préoccupation écologique. En tant que secteur, comme évoqué plus haut, c'est essentiel : les innovations en IA pourront servir à optimiser les consommations d'énergie et le recyclage et à mieux comprendre les effets de l'activité humaine sur l'environnement. Mais il s'agit également de veiller à ce que l'intelligence artificielle que nous développons soit la plus économe en énergie et en ressources.

Donner un sens, c'est également donner une signification. L'intelligence artificielle est loin d'être une fin en soi et son développement doit prendre en compte plusieurs aspects. Tout d'abord la nécessité de penser les modes de complémentarité entre l'humain et les systèmes intelligents. Que ce soit au niveau individuel ou collectif, cette complémentarité peut prendre plusieurs formes et peut être aliénante comme libératrice. Au cœur du développement de l'IA doit résider la nécessité de mettre en œuvre une complémentarité qui soit capacitante, en ce qu'elle permet de désautomatiser les tâches humaines. Pour favoriser la transition des tâches et des métiers dans ce sens, des expérimentations devront être mises en place sur l'ensemble des territoires, notamment à destination des populations les plus touchées par l'automatisation.

Dans un monde marqué par les inégalités, l'intelligence artificielle ne doit pas conduire à renforcer les phénomènes d'exclusion et la concentration de la valeur. En matière d'IA, la politique d'inclusion doit ainsi revêtir un double objectif : s'assurer que le développement de ces technologies ne contribue pas à accroître les inégalités sociales et économiques ; et s'appuyer sur l'IA pour effectivement les réduire. Plutôt que de fragiliser nos trajectoires individuelles et nos systèmes de solidarités, l'IA doit prioritairement nous aider à activer nos droits fondamentaux, augmenter le lien social et renforcer les solidarités. La mixité doit être également au cœur des priorités : la situation est alarmante dans les filières numériques, tant les femmes sont peu représentées. Les algorithmes peuvent en outre reproduire des biais sexistes.

Enfin une société algorithmique ne doit pas être une société de boîtes noires : l'intelligence artificielle va être amenée à jouer un rôle essentiel dans des domaines aussi variés que cruciaux (santé, banque, logement,…) et le risque de reproduire des discriminations existantes ou d'en produire de nouvelles est important. À ce risque s'en ajoute un autre : la normalisation diffuse des comportements que pourrait introduire le développement généralisé d'algorithmes d'intelligence artificielle. Il doit être possible d'ouvrir les boîtes noires, mais également de réfléchir en amont aux enjeux éthiques que les algorithmes d'intelligence artificielle peuvent soulever.

Donner un sens c'est enfin expliquer : expliquer ces technologies à l'opinion pour la démystifier – le rôle des médias est de ce point de vue primordial –, mais aussi expliquer l'intelligence artificielle en elle-même en développant les recherches sur l'explicabilité. Les spécialistes de l'IA eux-mêmes affirment souvent que des progrès importants peuvent être faits sur ce sujet.

C'est de manière plus générale une réflexion collective qui doit être menée sur ces technologies : la constante accélération des rythmes de déploiement ne doit pas empêcher une discussion politique sur les objectifs que nous poursuivons et leur bien-fondé.

Le cœur du document aborde successivement différentes facettes de l'IA : politique économique, recherche, emploi, éthique, cohésion sociale. L'ensemble forme un tout et passe en revue des actions qui ne font sens que quand elles sont prises ensemble. On trouvera d'ailleurs de nombreuses passerelles entre ces parties.

L'IA touche tous les secteurs (y compris ceux où on ne l'attend pas forcément, comme le sport ou la culture) mais il ne nous a pas semblé souhaitable, sauf à produire un document indigeste, de les passer tous en revue ; cependant nous avons ressenti le besoin de rédiger cinq annexes insistant sur des domaines d'intérêt particulier : éducation, santé, agriculture, transport, défense et sécurité.

Partie 1 – Une politique économique articulée autour de la donnée

Les mastodontes actuels de l'intelligence artificielle (États-Unis et Chine) et les pays émergents de la discipline (Israël, Canada et Royaume-Uni notamment) se développent ou se sont développés sur des modèles parfois radicalement différents. Ce n'est pas forcément grâce à un « Google européen » que la France et l'Europe pourront se faire une place sur la scène mondiale de l'IA. Elles doivent pour cela inventer un modèle spécifique.

Un écosystème européen de la donnée

Les données sont généralement le point de départ de toute stratégie en IA, car de leur disponibilité dépendent de nombreux usages et applications. Or les données bénéficient aujourd'hui majoritairement à une poignée de très grands acteurs. Ce n'est qu'au prix d'un plus grand accès et d'une meilleure circulation de ces données, pour en faire bénéficier les pouvoirs publics, mais aussi les acteurs économiques plus petits et la recherche publique, qu'il sera possible de rééquilibrer les rapports de forces.

La puissance publique doit pour cela amorcer de nouveaux modes de production, de collaboration et de gouvernance sur les données, par la constitution de « communs de la donnée »[1]. Cela devra passer par une incitation des acteurs économiques au partage et à la mutualisation de leurs données, l'État pouvant ici jouer un rôle de tiers de confiance. Dans certains cas, la puissance publique pourrait imposer l'ouverture s'agissant de certaines données d'intérêt général. Au niveau européen, plusieurs réformes en cours doivent permettre un meilleur accès et une plus grande circulation des données. La révision prochaine de la directive sur la réutilisation des informations du secteur public doit être l'occasion d'accélérer le mouvement d'ouverture des données publiques et de préciser les modalités d'un accès à des données privées pour des motifs d'intérêt général. La réforme actuelle du droit d'auteur devrait – enfin ! – permettre d'autoriser les pratiques de fouille de texte et de données (*text and data mining*) dans un objectif de compétitivité de notre recherche publique.

Cette politique de la donnée doit s'articuler avec un objectif de souveraineté : la France et l'Europe doivent conserver une position ferme s'agissant du transfert de données hors de l'Union européenne. La stratégie en IA devra en outre capitaliser sur les hauts standards de protection issus de la nouvelle législation européenne sur les données. Le nouveau droit à la portabilité[2] des individus sur leurs données personnelles pourrait ainsi s'inscrire dans une logique citoyenne, pour permettre à l'État et aux collectivités territoriales de récupérer ces données pour développer des applications en IA à des fins de politique publique.

Renforcer la visibilité de ceux qui font l'IA

La France dispose de tous les atouts pour exister pleinement sur la scène internationale. Néanmoins nos entreprises et nos réseaux académiques souffrent d'un véritable manque de visibilité. C'est à la fois vrai à l'étranger et sur le marché domestique : les grandes entreprises préfèrent parfois céder aux sirènes des géants mondiaux de la discipline plutôt que

1. Les communs, ou biens communs, désignent une ressource dont l'usage et la gouvernance sont définis par une communauté.

2. La capacité pour les utilisateurs de récupérer leurs données, pour leurs propres usages ou pour les transférer vers un autre service.

de faire confiance à nos pépites nationales, soit parce qu'elles en ignorent l'existence, soit par excès de prudence. Notre mission propose ainsi de fédérer les acteurs français de l'intelligence artificielle autour d'une marque forte, qui pourrait prendre la forme de labels et de prix « d'innovation de terrain » visant à récompenser les solutions d'IA les plus innovantes et à sécuriser de potentiels acheteurs.

Cet effort doit s'accompagner d'une structuration de la demande en IA. Cela pourrait passer par la création d'un guichet unique d'information visant à aider les potentiels acheteurs d'IA à mieux formaliser leurs besoins et à identifier les acteurs permettant d'y répondre.

Un choix clair : mettre l'accent sur quatre secteurs stratégiques

Pour renforcer l'écosystème français et européen de l'intelligence artificielle, il nous faut tirer parti des avantages comparatifs et des niches d'excellence de notre économie. De ce point de vue, notre mission recommande d'éviter les logiques de saupoudrage et de concentrer l'effort sur quatre secteurs prioritaires : santé, environnement, transports-mobilités et défense-sécurité. Tous représentent un défi majeur du point de vue de l'intérêt général, tous requièrent une impulsion importante de l'État et tous sont susceptibles de cristalliser l'intérêt et l'implication continue des acteurs publics et privés.

Pour chacun de ces secteurs, la stratégie industrielle doit permettre de mobiliser et de structurer les écosystèmes autour de grands enjeux et défis sectoriels. Il n'est pas question ici de développer de l'IA pour elle-même, comme une fin en soi, mais justement de canaliser cette énergie pour le développement d'applications, d'usages qui contribuent à améliorer notre performance économique ainsi que le bien commun : détection précoce des pathologies, médecine des 4P[3], disparition des déserts médicaux, mobilité urbaine à zéro émission... Ces enjeux et défis affichés de politique industrielle, propres à chaque secteur, dépassent le sujet de l'IA, mais pourraient contribuer à donner un terrain favorable à son développement.

3. Médecine personnalisée, préventive, prédictive, participative.

Le deuxième pilier de cette stratégie consiste à mettre en place des plateformes sectorielles de mutualisation. Celles-ci devront offrir un accès différencié et sécurisé aux acteurs de ces différents écosystèmes (chercheurs, entreprises, puissance publique) à des données pertinentes pour le développement d'IA, à des ressources logicielles ainsi qu'à des infrastructures de calcul d'ampleur significative. Dans un *continuum* public-privé, ces plateformes devront permettre à ces différents acteurs de développer de nouvelles fonctionnalités adaptées aux spécificités de chaque secteur.

Enfin, il est essentiel de fluidifier les parcours d'innovation en IA avec la mise en place de « bacs à sable d'innovation », qui se déclinent sur trois aspects : un allègement, temporaire, de certaines contraintes réglementaires pour laisser le champ libre à l'innovation ; un accompagnement des acteurs dans la prise en compte de leurs obligations ; des moyens d'expérimentation en situation réelle.

Transformation de l'État, État exemplaire

L'État doit être un puissant moteur de ces transformations. La puissance publique doit se donner les moyens

matériels et humains d'intégrer l'IA à la conduite de ses politiques publiques, à la fois dans une perspective de modernisation et par souci d'exemplarité.

Cette transformation va inévitablement prendre du temps et la maturité des différents ministères et administrations sur l'IA est très inégale. C'est pourquoi il est nécessaire d'installer un coordinateur interministériel dédié à la mise en œuvre de cette stratégie. Celui-ci pourra s'appuyer sur un pôle mutualisé de compétences, constitué d'une trentaine d'agents et chargé de conduire des missions de conseil auprès des administrations.

La commande publique doit être repensée. Évaluée à près de 70 milliards d'euros annuels pour l'État, les établissements publics et les collectivités, elle reste insuffisamment orientée vers l'innovation, pour des raisons à la fois opérationnelles, juridiques et culturelles. Notre mission recommande plusieurs mesures qui visent à mettre l'achat public au service du soutien aux industries européennes et à dynamiser l'achat public innovant.

Partie 2 – Pour une recherche agile et diffusante

La recherche française est au premier plan mondial pour ce qui concerne ses chercheurs en mathématiques et en intelligence artificielle, mais elle a du mal à transformer ses avancées scientifiques en applications industrielles et économiques. Elle pâtit d'une « fuite des cerveaux » vers les géants américains. L'offre de formation se situe par ailleurs bien en deçà des besoins en matière d'IA et science des données.

Fédérer les acteurs de la recherche autour d'Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle

Il faut renforcer la place mondiale de notre recherche en IA en créant, à l'intérieur d'une sélection d'établissements publics d'enseignement et recherche, des *Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle* (3IA) autonomes et coordonnés, réunissant chercheurs, ingénieurs et étudiants. Ils ont vocation à être répartis géographiquement sur l'ensemble du territoire national, diversifiés thématiquement sur les domaines de l'IA et mettant un accent fort sur l'interdisciplinarité, notamment, mais pas uniquement, vis-à-vis des sciences humaines et sociales.

Il faudra tout d'abord réussir à attirer des scientifiques français et étrangers. Ces instituts devront procurer un environnement de travail suffisamment attractif pour résister à la pression compétitive des géants du numérique, c'est pourquoi ils devront être conçus comme des « zones franches de l'IA » : allègement drastique des formalités administratives du quotidien, compléments de salaire conséquents, aides pour l'amélioration de la qualité de vie. Ces instituts pourront offrir des postes à temps plein et des statuts intermédiaires d'affiliés, pour les chercheurs qui restent dans les établissements fondateurs.

Il faudra également attirer des partenaires privés (grands groupes, PME, startups) porteurs de solutions en IA fondamentalement nouvelles, en leur permettant de former leurs ingénieurs, de recruter des ingénieurs de haut niveau, de réaliser ou consolider des avancées technologiques. Plusieurs modes de participation pourront être définis, selon des contrats-cadres adaptés permettant de démarrer

d'éventuelles collaborations spécifiques de manière simple et rapide.

Ces instituts devront effectivement contribuer à l'augmentation substantielle d'offres de formations en IA attractives et diversifiées. La présence d'enseignants de réputation internationale, entourés d'une équipe du même niveau ; la possibilité de côtoyer, *via* des stages ou des concours d'innovation, des industriels et des acteurs économiques de tout premier plan ; des offres de formations pluridisciplinaires avec doubles diplômes, et des facilités financières comme des bourses de master et de doctorat devraient permettre d'augmenter significativement le nombre d'étudiants venant se former à l'IA autour de ces instituts.

Il est enfin nécessaire de penser une coordination nationale du réseau des 3IA, sur les plans scientifique et administratif, qui soit efficace et transparente. Au niveau scientifique, cela passe notamment par la coordination des séminaires, le partage des ressources de formation, la coordination des stages et la consolidation de leurs résultats. Au niveau administratif, il s'agira de déterminer les allègements consentis à tous les 3IA, garantissant que chacun d'entre eux puisse en bénéficier, sans pour autant alourdir les procédures et sans empiéter sur l'autonomie de chacun.

Des moyens de calcul pour la recherche

Les instituts de recherche en IA doivent pouvoir disposer d'outils de calcul qui leur permettent de rivaliser avec les moyens quasi-illimités des grands acteurs privés. C'est pourquoi notre mission propose la mise en place d'un supercalculateur conçu spécifiquement pour les applications d'IA, dédié aux chercheurs et à leurs partenaires économiques dans le cadre de projets communs.

Ce supercalculateur, s'il est essentiel, devrait être complété par un forfait d'accès à un *cloud* privé, développé à un niveau européen et adapté aux spécificités de l'IA (en temps de calcul et en espace de stockage).

Rendre plus attractives les carrières dans la recherche publique

Même s'il est illusoire de penser rivaliser financièrement avec les offres des GAFAM, l'écart est actuellement si important qu'il tend à décourager les jeunes diplômés, y compris ceux qui sont le plus attachés à la recherche publique et au bien commun. Un doublement des salaires en début de carrière est un point de départ minimal indispensable, sous peine de voir se tarir définitivement le flux de jeunes prêts à s'investir dans l'enseignement supérieur et la recherche académique. Il est par ailleurs nécessaire de renforcer l'attractivité de la France pour les talents expatriés ou étrangers, notamment avec des incitations financières.

Partie 3 – Anticiper les impacts sur le travail, l'emploi et expérimenter

Le monde du travail est à l'aube de grandes transformations et n'y est encore que peu préparé. Les incertitudes sur les conséquences du développement combiné de l'intelligence artificielle, de l'automatisation et de la robotique sont très importantes, notamment concernant les emplois détruits et créés. Néanmoins, il

apparaît de plus en plus certainement que la majorité des métiers et des organisations vont être très largement transformés. Nous entrons donc dans une période de transition technologique importante : l'histoire nous enseigne que les précédentes transitions ne se sont pas faites sans encombre et que les processus de réajustement politiques ont parfois été violents, souvent au détriment des populations déjà les plus fragiles. Il est donc nécessaire de prendre le problème à bras le corps et d'agir résolument, sans céder à la panique ni au fatalisme.

Cela passe d'abord par une réflexion sur les modes de complémentarité entre l'humain et l'intelligence artificielle : si l'on part du principe que, pour la plupart des métiers, les individus seront amenés à travailler en collaboration avec une machine, il est nécessaire de définir une complémentarité qui ne soit pas aliénante, mais au contraire permette de développer les capacités proprement humaines (créativité, dextérité manuelle, capacité de résolution de problèmes…). Cela pourra s'articuler de plusieurs manières. Tout d'abord au travers d'une transformation du dialogue social afin d'intégrer pleinement les enjeux numériques et développer un indice de bonne complémentarité. De manière plus globale, un chantier législatif relatif aux conditions de travail à l'heure de l'automatisation pourrait être lancé afin de prendre en compte les nouveaux risques. Enfin, une transformation de la formation initiale et continue devra être amorcée afin de favoriser les pédagogies expérimentales, à même de développer les compétences créatives qui deviennent de plus en plus cruciales.

Créer un lab public de la transformation du travail

C'est la première nécessité : s'assurer que la capacité d'anticipation soit pérenne, continue et surtout articulée avec des politiques publiques. La parution des études sur l'avenir du travail occasionne des débats collectifs passionnants, mais souvent sans véritable incidence, tandis que les politiques publiques ne sont modifiées qu'à la marge et peinent à prendre véritablement en compte les résultats de ces exercices prospectifs. Les transformations peuvent être extrêmement rapides et les circuits des politiques publiques sont tout aussi complexes et difficiles à manœuvrer. La formation professionnelle, à elle toute seule par exemple, représente 32 milliards d'euros par an, avec une multitude de canaux de financement et une myriade d'acteurs différents.

Il est donc nécessaire de constituer un espace ou les capacités prospectives, de prévisions macro-économiques et d'analyse des mutations des usages puissent être mises en lien avec des capacités d'expérimentation concrètes et articulées avec des actions à destination de certaines catégories de travailleurs. Une structure pérenne pourrait donc être installée, qui aurait un rôle de « tête chercheuse » à l'intérieur des politiques publiques de l'emploi et de la formation professionnelle. Elle aura un double rôle : anticiper et expérimenter.

La démarche expérimentale pourra servir à amorcer des logiques différentes de celles qui sont actuellement en vigueur dans la formation professionnelle. Les dispositifs actuels sont largement « à la main » des salariés, dans une logique de responsabilisation individuelle. Au vu du caractère potentiellement très rapide, voire exponentiel de ces transformations, il semble difficile, pour les dispositifs généraux existants, de répondre à l'ensemble des situations et de permettre à la fois la prise en compte des besoins de l'ensemble de la

population et la nécessité d'agir de manière ciblée et urgente. De plus, face à la transformation de leur emploi, les individus ne sont pas égaux dans la capacité de s'adapter et de construire des parcours professionnels.

À cet égard, des expérimentations pourraient être menées afin de construire des dispositifs qui ciblent certaines populations d'individus, dont les emplois sont considérés comme étant le plus à risque d'automatisation et pour lesquelles il sera complexe d'amorcer seules leur transition professionnelle. Il s'agit donc de rompre, en partie, avec la seule logique de responsabilisation de l'individu concernant sa propre transition professionnelle.

Expérimenter de nouveaux modes de financement de la formation professionnelle pour tenir compte des transferts de valeur

Le financement de la formation professionnelle est fondé sur la masse salariale. Or, le développement de l'IA renforce la mutation des chaînes de valeur et entraîne une décorrélation entre les acteurs qui financent la formation professionnelle et ceux qui captent la valeur ajoutée. Ainsi des acteurs ayant une très faible masse salariale peuvent être à l'origine d'une grande partie de la valeur ajoutée d'une chaîne de valeur globale qu'ils contribuent à très largement modifier par exemple en développant un logiciel pour les voitures autonomes. Pour autant, à l'heure actuelle, ils ne participent pas au financement de la transition professionnelle des individus employés par d'autres acteurs de la chaîne de valeur.

Il est donc proposé d'instaurer un dialogue social autour du partage de la valeur ajoutée au niveau de la chaîne de valeur entière. Ce type de négociation ne correspond pas aux structurations habituelles du dialogue social qui fonctionne très largement à un niveau national et surtout suivant une structuration verticale, par branche. Des expérimentations pourraient être organisées par l'Organisation internationale du travail, ou encore les comités de dialogue social sectoriel, autour de produits et de chaînes de valeur particulièrement symptomatiques des phénomènes de captation de valeur.

Former des talents en IA, à tous niveaux

Un objectif clair doit être fixé : à horizon trois ans, multiplier par trois le nombre de personnes formées en intelligence artificielle en France, à la fois en faisant en sorte que l'offre de formation existante s'oriente vers l'IA, mais également en créant de nouveaux cursus et de nouvelles formations à l'IA (doubles cursus droit-IA par exemple, modules généraux…). L'ensemble des niveaux (bac +2, bac +3, master, doctorat) doit faire l'objet d'attention.

Partie 4 – L'intelligence artificielle au service d'une économie plus écologique

Donner un sens à l'intelligence artificielle, c'est également penser sa soutenabilité, notamment écologique. Cela ne se résume pas à lister les usages de l'IA qui pourront aider à la transition écologique. Il s'agit de penser une IA nativement écologique et de l'utiliser pour mieux penser l'impact de l'humain sur son environnement. Il y a urgence : d'ici 2040, les besoins en espace de stockage au niveau mondial, fondamentalement corrélés au développement du numérique et de l'IA, risquent d'excéder la production disponible globale de silicium.

La France et l'Europe peuvent devenir le fer-de-lance de cette transition écologique intelligente, d'abord en inscrivant le sujet à l'agenda international. Premier chantier : penser les impacts de l'IA sur la réalisation des objectifs de l'ONU sur le développement durable (ODD) – en quoi celle-ci en met certains sous contrainte, comment elle peut à l'inverse permettre d'en accélérer d'autres. L'IA doit s'intégrer aux initiatives émergentes dans le cadre de l'Accord climat et du Pacte mondial pour l'environnement.

Les acteurs des transitions numérique et écologique doivent se fédérer. Pour cela, il est nécessaire de créer un lieu dédié à cette rencontre entre la recherche en IA et la recherche portant sur l'optimisation des ressources énergétiques. Il s'agira de porter des projets à la croisée des sciences du vivant et de l'écologie, la recherche sur le climat et la météo.

Le consommateur doit être acteur dans le verdissement de ces technologies. Notre mission propose ainsi la mise en place d'une plateforme dédiée à la mesure de l'impact environnemental des solutions numériques intelligentes. Cette plateforme devra s'accompagner d'un outil simple permettant à tout citoyen de prendre conscience de ces enjeux et de comparer l'impact environnemental de ces différents produits et services, logiciels et matériels.

Penser une IA plus verte

Nous devons penser l'innovation de rupture dans le domaine du semi-conducteur, l'une des briques matérielles de l'IA. À ce titre les technologies neuromorphiques[4] peuvent permettre des économies d'énergie considérables – et la France est déjà très avancée dans le domaine.

Par ailleurs, les pouvoirs publics doivent agir pour le verdissement de la chaîne de valeur et accompagner l'industrie du *cloud* européen dans le sens de sa transition écologique. Certains acteurs sont déjà exemplaires en matière d'optimisation de l'utilisation de l'énergie. Il est important de diffuser ces bonnes pratiques à l'ensemble du secteur. Un label pourrait être mis en place afin de valoriser les solutions les plus exemplaires.

Enfin, le verdissement de la chaîne de valeur de l'IA passera nécessairement par des architectures matérielles et logicielles ouvertes (*open hardware* et *open software*) qui, en plus d'être un facteur de confiance, peuvent permettre des économies d'énergie significatives et qui peuvent inspirer les initiatives en cours au niveau européen.

Libérer la donnée écologique

Le développement d'une IA verte n'est possible qu'à condition de libérer la donnée écologique. Pour développer des solutions d'IA au service de la transition écologique, il est ainsi primordial de mettre à la disposition de tous, chercheurs et entreprises européennes, et rapidement, à horizon 2019, les données publiques disponibles : météorologiques, agricoles, de transports, d'énergie, de biodiversité, de climat, de déchets, cadastrales, de diagnostic de performance énergétique… Pour les jeux de données les plus sensibles, l'ouverture pourrait se faire dans un périmètre précis, par exemple dans le cadre de défis sectoriels. Il est également essentiel de libérer la donnée privée, lorsque cela est nécessaire.

4. On appelle puces neuromorphiques les puces dont le fonctionnement s'inspire du cerveau humain.

Partie 5 – Quelle éthique de l'IA ?

Les progrès récents de l'IA dans de nombreux domaines (voitures autonomes, reconnaissance d'images, assistants virtuels) et son influence croissante sur nos vies renforcent sa place dans le débat public. Ce débat a notamment pris la forme d'une large réflexion sur les enjeux éthiques liés au développement des technologies d'intelligence artificielle et plus largement des algorithmes. Loin des considérations spéculatives sur les menaces existentielles de l'IA pour l'humanité, les réflexions tendent à se cristalliser autour des algorithmes du « quotidien », qui peuvent d'ores et déjà avoir des conséquences importantes sur nos vies.

Si nous souhaitons faire émerger des technologies d'IA conformes à nos valeurs et normes sociales, il faut agir dès à présent en mobilisant la communauté scientifique, les pouvoirs publics, les industriels, les entrepreneurs et les organisations de la société civile. Notre mission a cherché, humblement, à proposer quelques pistes permettant de poser les bases d'un cadre éthique pour le développement de l'IA et à faire vivre ce débat dans la société.

Ouvrir les boîtes noires

Une grande partie des considérations éthiques soulevées tiennent à l'opacité de ces technologies : l'IA donne aujourd'hui des résultats spectaculaires, pour des raisons que les chercheurs ont parfois du mal à expliquer. C'est le fameux problème de la boîte noire : des systèmes algorithmiques dont il est possible d'observer les données d'entrée (*input*), les données de sortie (*output*), mais dont on comprend mal le fonctionnement interne. Dans un contexte où l'IA est susceptible de reproduire des biais et des discriminations, et à mesure de son irruption dans nos vies sociales et économiques, être en mesure « d'ouvrir les boîtes noires » tient de l'enjeu démocratique.

L'explicabilité des algorithmes d'apprentissage automatique est un sujet si pressant qu'il constitue aujourd'hui un champ de recherche spécifique, qui doit être soutenu par la puissance publique. Trois axes en particulier semblent mériter une attention particulière : la production de modèles plus explicables bien sûr, mais aussi la production d'interfaces utilisateurs plus intelligibles et la compréhension des mécanismes cognitifs à l'œuvre pour produire une explication satisfaisante.

Au-delà de la transparence, il est nécessaire d'accroître l'auditabilité des systèmes d'IA. Cela pourrait passer par la constitution d'un corps d'experts publics assermentés, en mesure de procéder à des audits d'algorithmes, des bases de données et de procéder à des tests par tout moyen requis. Ces experts pourraient être saisis à l'occasion d'un contentieux judiciaire, dans le cadre d'une enquête diligentée par une autorité administrative indépendante ou suite à une demande du Défenseur des droits.

Penser l'éthique dès la conception

Les chercheurs, ingénieurs et entrepreneurs qui contribuent à la conception, au développement et à la commercialisation de systèmes d'IA sont amenés à jouer un rôle décisif dans la société numérique de demain. Il est essentiel qu'ils agissent de manière responsable, en prenant en considération les impacts socio-économiques de leurs activités. Pour s'en assurer,

il est nécessaire de les sensibiliser, dès le début de leur formation, aux enjeux éthiques liés au développement des technologies numériques. Aujourd'hui cet enseignement est quasiment absent des cursus des écoles d'ingénieurs ou des parcours informatiques des universités, alors même que le volume et la complexité des problématiques éthiques auxquels ces futurs diplômés seront confrontés ne cessent de croître.

Au-delà de la formation des ingénieurs, les considérations éthiques doivent irriguer le développement même des algorithmes d'intelligence artificielle. Sur le modèle de l'étude d'impact sur les risques en matière de vie privée (*privacy impact assessment*), rendu obligatoire pour certains traitements de données par le règlement général sur la protection des données (RGPD), il pourrait être institué une étude d'impact sur les risques de discrimination (*discrimination impact assessment*). L'objectif est simple : obliger les développeurs d'IA à se poser les bonnes questions, au bon moment.

Plus généralement, l'utilisation croissante de l'IA dans certains domaines sensibles comme la police, la banque, l'assurance, la justice ou l'armée (avec la question des armes autonomes) appelle un véritable débat de société et une réflexion sur la question de la responsabilité humaine. Nous devons également nous interroger sur la place de l'automatisation dans les décisions humaines : existent-ils des domaines où le jugement humain, aussi faillible soit-il, ne devrait pas à être remplacé par une machine ?

Créer un comité d'éthique de l'IA

Notre mission recommande la création d'un comité d'éthique des technologies numériques et de l'IA ouvert sur la société. Cet organe serait chargé d'organiser le débat public, de façon lisible, construite et encadrée par la loi. Il devra parvenir à articuler des logiques de temps court, celui des enjeux économiques et industriels, en bonne interaction avec les comités sectoriels, tout en parvenant à s'en extraire pour penser le temps long.

Les avis de ce comité, élaborés en toute indépendance, pourraient éclairer les choix technologiques des chercheurs, des acteurs économiques, industriels et de l'État. Ses recommandations pourront servir de référence pour la résolution de dilemmes éthiques (par exemple sur le véhicule autonome) et donc servir de standard pour les développements en IA.

Partie 6 – Pour une IA inclusive et diverse

L'intelligence artificielle ne peut pas être une nouvelle machine à exclure. C'est une exigence démocratique dans un contexte où ces technologies sont en passe de devenir une des clés du monde à venir. Elle ouvre de formidables opportunités de création de valeur et de développement de nos sociétés et des individus. Ces opportunités doivent bénéficier à tous.

Mixité et diversité : agir pour l'égalité

En dépit d'une féminisation lente, mais progressive des filières scientifiques et techniques, le numérique fait figure d'exception : la parité entre les hommes et les femmes est loin d'y être acquise. À mesure que le numérique et, demain, l'intelligence artificielle deviennent omniprésents dans nos vies, ce manque de diversité peut conduire les algorithmes à reproduire

des biais cognitifs – souvent inconscients – dans la conception des programmes, l'analyse des données et l'interprétation des résultats. L'un des grands défis de l'IA consiste donc à parvenir à une meilleure représentativité de nos sociétés.

Si l'éducation à l'égalité et au numérique est une condition préalable et essentielle, la mixité pourrait être atteinte avec une politique incitative visant à atteindre un seuil de 40 % d'étudiantes dans les filières du numérique (classes préparatoires et filières des grandes écoles et des universités) d'ici 2020.

L'ensemble des actions en faveur de la diversité dans les entreprises du numérique pourraient par ailleurs être portées par une action nationale en faveur de la mixité et de la diversité dans la technologie avec l'alimentation, notamment, d'une base de données nationale permettant d'objectiver les inégalités entre les femmes et les hommes au travail et de fonds dédiés à soutenir la diversité dans l'IA.

Développer la médiation numérique et l'innovation sociale pour que l'IA bénéficie à tous

Face à l'ampleur des transformations à venir par l'IA, il est de notre responsabilité collective de s'assurer que personne ne soit mis de côté. Pour que chacun puisse véritablement bénéficier des avancées de l'IA, nos procédures d'accès aux droits doivent évoluer, et nos capacités de médiation considérablement se renforcer. Notre mission propose donc de mettre en place un système automatisé d'aide à la gestion des démarches administratives qui vise à améliorer la connaissance pour le grand public des règles administratives et de leur application à une situation personnelle. En complément, de nouvelles capacités de médiation doivent être déployées pour accompagner les des personnes qui en ont besoin, en lien avec les réseaux du prendre soin présents sur le territoire.

Enfin, il est important que la puissance publique soutienne le développement d'initiatives basées sur l'IA dans les champs sociaux. À l'heure actuelle, les capacités d'innovation par l'IA restent très concentrées au sein d'un petit nombre d'entreprises. À l'exception de la santé, les champs sociaux reçoivent une part minoritaire des investissements privés. Cette structuration de l'écosystème d'innovation en IA a des conséquences sur la vitesse des progrès réalisés dans les champs sociaux. Afin de redistribuer ces capacités d'innovation, la puissance publique pourrait lancer des programmes spécifiques pour accompagner l'innovation d'IA en matière sociale, et outiller les acteurs sociaux afin qu'ils puissent bénéficier des avancées liées à l'IA.

Partie 1 –

Une politique économique articulée autour de la donnée

Partie 1 – Une politique économique articulée autour de la donnée

La course à l'intelligence artificielle s'est intensifiée sur la scène mondiale au cours des dernières années. En juillet 2017, la Chine a dévoilé sa feuille de route[1] pour créer une industrie d'une valeur de 150 milliards de dollars pour son économie d'ici 2030. Une façon de répondre à son principal rival, les États-Unis, qui investissent massivement dans l'IA depuis plusieurs années[2]. Face à ce duopole, quel espace pour la France et l'Europe ?

Celles-ci disposent d'atouts considérables pour peser sur la scène mondiale. S'agissant de la France, elle peut notamment s'appuyer sur l'excellence de sa recherche et de sa formation, un vivier de startups spécialisées, des bases de données très importantes et un tissu industriel d'envergure mondiale. L'Europe peut quant à elle mettre en avant un marché de près de 500 millions de consommateurs, une recherche de pointe, des leaders économiques mondiaux et une puissance financière, qui même si elle est naturellement fragmentée, n'a rien à envier aux géants de la discipline. Elle est également organisée autour d'un système de valeurs communes et d'un cadre juridique en voie d'harmonisation. De ce point de vue, c'est l'échelle pertinente pour espérer rivaliser avec les champions actuels.

D'abord, une politique offensive visant à favoriser l'accès aux données, la circulation de celles-ci et leur partage. Les données sont la matière première de l'IA contemporaine et d'elles dépend l'émergence de nombreux usages et applications

Il est important de rappeler que les mastodontes actuels de l'intelligence artificielle – États-Unis et Chine – et les pays émergents de la discipline – Israël, Canada et Royaume-Uni notamment – se développent ou se sont développés sur des modèles parfois radicalement différents. Ce n'est pas forcément grâce à un « Google européen » que la France et l'Europe pourront se faire une place sur la scène mondiale.

Dans cette optique, notre mission propose une stratégie qui repose sur trois piliers.

D'abord, une politique offensive visant à favoriser l'accès aux données, la circulation de celles-ci et leur partage. Les données sont la matière première de l'IA contemporaine et d'elles dépend l'émergence de nombreux usages et applications. Il est tout d'abord urgent d'accélérer et d'étoffer la politique d'ouverture des données publiques (*open data*), en particulier s'agissant des données critiques pour les applications en IA. La démarche d'*open data* fait l'objet d'une politique volontariste depuis plusieurs années, notamment sous l'impulsion de la loi pour une République numérique[3] : cet effort, important, doit être soutenu. La puissance publique doit par ailleurs amorcer de nouveaux modes de production, de collaboration et de gouvernance sur les données, par la constitution de « *communs de la donnée* »[4]. Il lui revient ainsi d'inciter les acteurs économiques au partage et à la mutualisation de données voire, dans certains cas, d'en imposer l'ouverture. La politique de la donnée doit enfin s'articuler avec un objectif de souveraineté et capitaliser sur les standards de protection européens pour faire de la France et l'Europe les championnes d'une IA éthique et soutenable. L'Union européenne s'est engagée depuis

1. Document disponible à l'adresse suivante : http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c5960820/content.html

2. Pour donner un ordre de grandeur, les géants américains du numérique représentent 2200 milliards de dollars de valorisation quand l'ensemble du CAC40 ne pèse que 1500 milliards dollars…

3. Loi 2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique.

4. Les communs, ou biens communs, désignent une ressource dont l'usage et la gouvernance sont communs à tous.

quelques années dans une politique ambitieuse de consolidation du marché européen (*Digital Single Market*, dans laquelle les propositions suivantes ont vocation à s'inscrire.

Il s'agit ensuite de concentrer les efforts de la politique industrielle dans quatre domaines prioritaires pour le développement de l'IA : santé, transports-mobilités, environnement, défense-sécurité. Les mesures proposées visent notamment à articuler le soutien à l'innovation autour de grands enjeux de notre époque, à fédérer les différents écosystèmes autour de plateformes de mutualisation sectorielles et à mettre en place des espaces d'expérimentations. Le rôle de l'État consiste ici à poser les briques élémentaires de l'innovation, à donner les moyens, les ressources aux acteurs pour innover, sans pour autant piloter ce mouvement.

Le point de départ de toute stratégie en intelligence artificielle tient ainsi en la constitution de larges corpus de données

Enfin, il est question d'amorcer une mutation profonde de l'État, qui doit être un moteur de ces transformations. La puissance publique doit se donner les moyens matériels et humains d'intégrer l'IA à la conduite de ses politiques publiques, autant dans une perspective de modernisation que d'exemplarité. Cela suppose d'avancer sur plusieurs plans, qui vont de la commande publique à la politique de l'État en matière de ressources humaines et de compétences ; mais aussi de son approche même de l'innovation.

Cette partie est la plus longue. Non pas qu'elle soit plus importante que les autres – tous les axes doivent être traités avec la même attention ! – mais parce que les recommandations qu'elle contient, notamment sur la donnée, ont vocation à irriguer les autres.

Renforcer l'écosystème européen de la donnée

Les techniques d'apprentissage automatique (*machine learning*) marquent une rupture avec l'algorithmie classique. Notamment en ce qu'elles marquent le passage progressif d'une logique de programmation à une logique d'apprentissage. C'est ce qui a conduit le magazine *Wired* à prophétiser en juin 2016 « la fin du code » : à l'avenir, nous ne programmerons plus les ordinateurs, nous les entraînerons. On peut comparer le fonctionnement d'un algorithme de *machine learning* au développement cognitif de l'enfant : celui-ci apprend en observant le monde, en analysant la manière dont les individus interagissent, en reproduisant les règles sans pour autant qu'on lui expose explicitement. Schématiquement, la même chose se produit en matière d'apprentissage automatique : les algorithmes sont désormais entraînés à apprendre seuls sans programmation explicite. Plutôt que de programmer une voiture pour qu'elle se conduise toute seule, les constructeurs vont par exemple lui proposer une quantité innombrable de scénarios de conduite pour lui permettre de réagir à n'importe quelle situation, parmi les plus improbables[5]. Cette base d'apprentissage, c'est précisément la donnée. Soyons clairs : l'apprentissage par données n'est pas la seule méthode menant à l'intelligence artificielle (loin s'en faut) mais c'est aujourd'hui la méthode la plus utilisée, celle qui se développe le plus vite et celle qui fait l'objet de la compétition internationale la plus vive.

5. « Sur notre terrain de test en Californie, des personnes se jettent à plat ventre quand la voiture arrive et font l'escargot » Chris Urmson, directeur de la division Google Car (https://www.lesechos.fr/14/03/2016/lesechos.fr/021765692246_comment-la-google-car-utilise-le---deep-learning--.htm)

Le point de départ de nombreuses de stratégies en intelligence artificielle tient ainsi en la constitution de larges corpus de données. De nombreux usages et applications dépendent directement de la disponibilité des données : c'est par exemple la raison pour laquelle le traitement automatique de la langue française est moins développé que le traitement de la langue anglaise. C'est également pour cette raison que les traductions du français à l'anglais fonctionnent beaucoup mieux que les traductions du français vers le thaï, les corpus de textes franco-thaïlandais étant beaucoup plus rares.

Si la donnée brute est nécessaire, elle décuple sa valeur lorsqu'elle est structurée et annotée[6] de sorte qu'elle véhicule des informations valorisables par les techniques d'IA. L'enrichissement et l'annotation des jeux de données sont particulièrement importants pour le *machine learning* (apprentissage automatique), mais il s'agit là d'une opération pénible, très consommatrice en temps, en ressources humaines et financières. C'est pourquoi dans de nombreux domaines, les moyens du *crowdsourcing* (externalisation distribuée à grande échelle) sont mis en œuvre pour collecter et surtout annoter ces informations (notamment au travers de plateformes de microtâches, comme Amazon Mechanical Turk). Les applications génériques de l'IA s'appuient généralement sur des corpus de domaine public (par exemple, les textes multilingues issus des organisations internationales sont utilisés pour améliorer les outils de traduction automatique), mais pour ce qui est des domaines industriels, le travail de collecte et d'annotation, pour fastidieux qu'il soit, est un enjeu stratégique.

6. L'annotation fait référence à l'adjonction d'une mention à une donnée qui en qualifie le contenu.

La donnée constitue un avantage compétitif majeur dans la concurrence mondiale pour l'IA et de ce point de vue, il est indéniable que les géants du numérique partent avec un avantage considérable. Pour autant le volume des données ne fait pas tout : des jeux de données moins importants (*small data*) peuvent permettre d'obtenir des performances importantes s'ils sont couplés à des modèles pertinents.

L'accès à la donnée reste néanmoins une condition essentielle de l'émergence d'une industrie française et européenne de l'IA. Dans un monde de plus en plus automatisé, c'est de cet accès que dépendent la vitalité et la performance de notre recherche et de l'action publique, mais aussi notre capacité collective à déterminer la trajectoire de l'intelligence artificielle, à dessiner les contours de notre société automatisée.

Or sur l'IA, la situation actuelle est caractérisée par une asymétrie critique entre les acteurs de premier plan – les GAFAM[7] (Google, Amazon, Facebook, Apple et Microsoft, auxquels il faut rajouter IBM pour l'IA) d'un côté, les BATX (Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi) – qui ont fait de la collecte et de la valorisation des données la raison de leur prééminence ; et les autres – entreprises et administrations – dont la survie à terme est menacée. Cette première asymétrie en emporte une seconde, critique, entre l'Europe et les États-Unis. Pour s'en convaincre, il suffit de s'intéresser aux flux de données entre ces grands espaces géographiques : rien qu'en France, près de 80 % des visites vers les 25 sites les plus populaires sur un mois sont captés par les grandes plateformes américaines[8]. De ce point de vue, l'Europe fait figure d'exception : tant la Russie que la Chine, pour ne citer qu'elles, parviennent à capter l'essentiel des données de leurs utilisateurs.

7. L'acronyme varie selon qu'on y inclut Microsoft et IBM, mais il continue de désigner un nombre très restreint d'entreprises.

8. Étude de la Chaire Castex de Cyberstratégie : http://www.cyberstrategie.org/?q=fr/flux-donnees

9. Mise en œuvre d'une politique commerciale agressive, utilisation systématique du levier de la commande publique, investissements et soutien direct continus…

Cela résulte en grande partie de la politique volontariste de ces gouvernements de favoriser l'émergence de leurs propres champions du numérique[9].

Une politique de la donnée adaptée aux besoins de l'intelligence artificielle doit donc s'articuler avec un objectif de souveraineté, d'autonomie stratégique pour la France et l'Union européenne. Disons-le d'emblée : les équilibres sont fragiles et cet objectif demande de l'ambition. C'est pourtant la condition d'un développement de l'intelligence artificielle qui ne conduise pas à faire de la France et de l'Europe une « colonie numérique » des géants chinois ou américains. De la même façon, le développement de l'intelligence artificielle peut s'opérer sans renier nos traditions juridiques et politiques de protection forte des individus. C'est d'ailleurs l'une des positions fortes de notre mission que de considérer ces standards élevés comme des opportunités stratégiques, voire comme des éléments différenciants, dans la course mondiale à l'intelligence artificielle.

Le débat actuel sur l'intelligence artificielle coïncide avec l'entrée en vigueur prochaine du règlement général sur la protection des données (RGPD). Salué des uns, honni des autres – dans les deux cas pour une multitude de raisons –, le RGPD n'en reste pas moins l'une des législations européennes les plus ambitieuses de ces dernières décennies. C'est également l'un des rares exemples où le Parlement européen a pu jouer un rôle de premier plan, en particulier grâce à l'impulsion de Jan Philipp Albrecht, eurodéputé allemand. À bien des égards, ce texte constitue une petite révolution juridique. Non pas tant en raison de son contenu (en France et ailleurs, les algorithmes et traitements de données sont régulés depuis une quarantaine d'années) que pour le signal adressé aux acteurs publics et privés, ainsi qu'au reste du monde : l'Europe a fait le choix d'un standard élevé de protection des données, auquel devront se plier toutes les entreprises souhaitant traiter les données des Européens (principe d'extraterritorialité du RGPD) au risque de s'exposer à des amendes records (2 à 4 % du chiffre d'affaires mondial). Le RGPD est en outre un instrument puissant de consolidation de l'écosystème numérique européen. Si ces dispositions avaient existé il y a 20 ans, il est probable que Facebook, Amazon ou Google n'auraient pas pénétré le marché européen aussi facilement et que la concurrence aurait pu démarrer sur des bases plus saines. Le délai nécessaire pour qu'ils s'adaptent à la réglementation aurait pu permettre aux entreprises européennes de développer des services compétitifs.

L'intelligence artificielle dans le contexte du RGPD

Le RGPD vient réguler l'utilisation des données à caractère personnel, c'est-à-dire toute information relative à une personne physique identifiée ou qui peut être identifiée, directement ou indirectement. Naturellement, le RGPD intéresse l'IA à plusieurs titres :

D'abord, car il vient encadrer les conditions de collecte et de conservation des données à caractère personnel (et uniquement celles-ci), qui peuvent être utilisées par l'intelligence artificielle ; ainsi que l'exercice de leurs droits par les personnes (droit à l'information, droit d'opposition, droit d'accès, droit de rectification) ;

Le RGPD vient par ailleurs affirmer un droit à la portabilité des individus sur leurs données : son article 20 prévoit que « les personnes concernées ont le droit de recevoir les données à caractère personnel les concernant qu'elles ont fournies à un responsable du traitement ».

Le RGPD prévoit également le droit pour les personnes d'obtenir, auprès de celui qui en est responsable, des informations sur la logique de fonctionnement de l'algorithme (article 15.1 du RGPD). ;

Ensuite, car il interdit qu'une machine puisse prendre seule, c'est-à-dire sans supervision humaine, des décisions emportant des conséquences graves pour les personnes, en matière d'octroi de crédit, par exemple (article 22 du RGPD). Cette disposition, historiquement inspirée du droit français, insiste sur la nécessité de garder une responsabilité humaine ;

Enfin, le RGPD est d'application extraterritoriale, ce qui signifie qu'il peut s'appliquer à toute entreprise dès lors qu'un résident européen est directement visé par un traitement de données.

Inciter les acteurs économiques à la mutualisation de données

En matière numérique, l'innovation repose bien souvent sur des logiques d'ouverture et l'IA ne fait pas exception. Par nature, la donnée elle-même est propice à l'ouverture, au partage du fait de son caractère non rival et son faible coût de production. Les données en tant que telles ont souvent peu de valeur, mais en gagnent quand elles sont contextualisées, croisées avec d'autres. Il est fréquent que celui qui collecte la donnée ne soit pas le seul à pouvoir en tirer un bénéfice, ou le mieux placé pour l'exploiter. D'où l'intérêt de favoriser leur circulation pour maximiser l'utilité économique et sociale des données. Les géants du Net l'ont bien compris : outre leurs remarquables sens et instinct pour la communication, qu'est-ce qui constitue la force de ces grandes plateformes, sinon leur capacité à capitaliser sur l'ouverture pour constituer autour d'elles de véritables écosystèmes dont elles occupent le centre (*voir encadré*) ?

L'APIsation de l'économie

Si les données sont le carburant de l'économie numérique, les API (application programming interface) en sont le moteur. Les API correspondent à des interfaces mises à disposition par les plateformes pour permettre à des acteurs tiers d'innover à partir de leurs ressources. C'est une API de Facebook qui lui a permis de répandre le bouton like sur le web et de dominer le marché de la recommandation. De la même façon, les milliers de développeurs qui utilisent les API de Netflix sont à l'origine de son succès. Selon son dirigeant, avoir ces développeurs en interne lui aurait coûté près d'un milliard de dollars par an. La domination des plateformes s'explique largement par cette capacité à agréger des écosystèmes autour d'elles et à en occuper le centre. Le cœur de ces écosystèmes, ce sont précisément les API.

C'est en partant de ce constat qu'un nombre croissant de réflexions tendent à qualifier les données de nouvelles infrastructures. C'est le cas, par exemple, d'un rapport de l'OCDE de 2015 portant sur l'innovation et le *big data*[10]. Cette

10. OCDE, *Data-Driven Innovation : big data for Growth and Well-Being* (2015).

idée justifie selon l'organisation de mener des politiques d'ouverture des données publiques plus ambitieuses, de promouvoir le partage de données entre acteurs, mais aussi de réviser le cadre des interventions législatives dans les situations de monopoles. Pour beaucoup d'acteurs économiques néanmoins, trop souvent la fermeture reste la règle et l'ouverture, l'exception (*voir encadré*).

Pour beaucoup d'acteurs privés, les chiffres montrent que l'ouverture reste l'exception

Une étude de 2017 financée par l'Union européenne établissait qu'environ 90 % des entreprises interrogées affirmaient ne pas partager leurs données avec d'autres entreprises (Hofheinz & Osimo, 2017). Même à l'intérieur des organisations, les silos de données constituent des barrières à la réutilisation des données d'un service à l'autre. Dès 2012, un sondage mené par l'Economist Intelligence Unit était parvenu à une conclusion similaire : 60 % des entreprises affirmaient que les silos organisationnels constituaient le frein principal à l'utilisation des données pour le big data.

Il n'en demeure pas moins que ce mouvement d'ouverture constitue une lame de fond de l'économie numérique. Dans le secteur privé, de nombreuses initiatives spontanées de mise en circulation des données voient le jour, à des degrés divers d'ouverture. Cela peut être des échanges entre entreprises dans le cadre de partenariats bilatéraux, par exemple entre donneurs d'ordres et sous-traitants au sein d'une même verticale. Il peut s'agir d'ouvertures ponctuelles de jeux de données par une entreprise, souvent dans le cadre d'une démarche visant à stimuler la créativité autour des usages possibles sur ses données (par exemple des hackathons). Comme on l'a vu, une entreprise peut encore choisir d'ouvrir certains jeux de données au travers d'une API, de manière gratuite ou payante, afin de générer de nouveaux usages et, *in fine*, de la valeur pour cette entreprise. L'ouverture peut également servir à des projets d'enseignement ou de formation (cela se fait notamment au Canada, très peu en France). Enfin, certaines plateformes mettent en œuvre un principe d'ouverture maximale de leurs données, dans une logique de *crowdsourcing* (*ex.* : OpenStreetMap).

La puissance publique doit donc porter un autre modèle de production et de gouvernance des données, qui met l'accent sur la réciprocité, la collaboration et le partage

La société Uber s'est récemment lancée dans une vaste entreprise d'ouverture et de valorisation de ses données auprès des municipalités. Comme Waze avant lui, le géant américain, dont les chauffeurs VTC parcourent près d'un milliard de kilomètres dans le monde chaque mois, est assis sur l'une des bases de données les plus importantes et précise sur le trafic urbain mondial. Bien davantage que nombre d'agences spécialisées ou de services municipaux. Si Uber conservait jusqu'ici la main sur ses données pour optimiser son service, aujourd'hui, elle en livre une partie en *open data* à travers Uber Movement, une initiative qui concerne depuis octobre 2017 la ville de Paris : ces données permettent de dresser un état des lieux très fin et dynamique de la fluidité de la circulation en Île-de-France. De nouvelles

données pourraient également faire l'objet d'une ouverture volontaire : par exemple la vitesse enregistrée sur les grands axes de circulation ou encore la localisation de croisements où les chauffeurs sont amenés à freiner brusquement. Dans le même souci de séduire les collectivités territoriales, la plateforme de location de logements entre particuliers Airbnb a également lancé un portail DataVille pour donner accès à certaines statistiques sur l'utilisation de son service. Si ces initiatives sont évidemment stratégiques pour les entreprises considérées – en termes d'image, bien sûr, mais aussi car elles conservent la main sur les données mises à disposition –, elles n'en sont pas moins révélatrices du mouvement à l'œuvre.

L'ouverture et le partage de données provenant du secteur privé peuvent ainsi contribuer à alimenter la masse de données disponibles et ainsi contribuer au développement de l'intelligence artificielle. Le premier acte de la « bataille de l'IA » portait sur les données à caractère personnel. Cette bataille a été remportée par les grandes plateformes. Le second acte va porter sur les données sectorielles : c'est sur celles-ci que la France et l'Europe peuvent se différencier. L'objectif est d'abord stratégique pour les acteurs français et européens, car c'est un moyen pour les entreprises d'un même secteur de rivaliser avec les géants mondiaux de la discipline.

Le partage de données doit également être encouragé dans un souci, pour certains cas, de sécurité des solutions d'intelligence artificielle. Dans l'exemple de la voiture autonome, chaque constructeur développe aujourd'hui de son côté ses propres modèles d'apprentissage. Pour assurer la fiabilité de leurs prototypes et atteindre un niveau de risque acceptable, ces derniers sont tenus d'envisager un maximum de possibilités : il faut par exemple collecter des données de roulage toute l'année pour se confronter aux variations des conditions climatiques. Par ailleurs, les référentiels de scénarios ne sont valables que pour une région donnée : les routes et les comportements de conduite diffèrent selon que l'on se trouve à Paris, à Mumbai, à New York ou à Hong Kong. L'ensemble de ces variables rend impossible l'anticipation de tous les scénarios par un seul constructeur, fut-il le plus avancé. Ainsi si les géants américains ont pu prendre une avance relative en la matière, ils sont encore loin d'un niveau de fiabilité acceptable[11]. Partager ses données, ses référentiels de scénarios de conduite autonome (au moins pour partie) revient donc à s'assurer qu'en cas de litige, le plan de validation du véhicule concerné était à l'état de l'art et non propre à un constructeur.

La puissance publique doit donc porter un autre modèle de production et de gouvernance des données, qui met l'accent sur la réciprocité, la collaboration et le partage pour favoriser le partage de données entre les acteurs d'un même secteur. Plusieurs pays conduisent ainsi des politiques incitatives au partage de données privées. C'est le cas au Royaume-Uni, où l'*Open Data Institute*[12] promeut depuis plusieurs années cette ouverture volontaire des données privées afin de favoriser le développement économique : l'ODI met par exemple en avant le cas de l'entreprise Thomson Reuters, qui développe une plateforme collaborative pour mettre à disposition ses données, accessibles et réutilisables par tous. Cette approche vise à améliorer sa relation client, mais aussi la qualité de ses données, de ses produits et services[13]. Aux États-Unis, le *Bureau of Transportation Statistics* (BTS) opère un programme sur la mise en commun de certains jeux de

11. Le consensus de fiabilité pour la voiture autonome est fixé à 10^{-8}/heure, c'est-à-dire que la probabilité d'occurrence d'une défaillance grave doit être inférieure à 0,00000001 pour une heure donnée. Ce taux est 10 fois inférieur à la moyenne européenne de régulation des produits défectueux.

12. Créé en 2012 avec le soutien du Conseil de la stratégie technologique du gouvernement (Technology Strategy Board) qui le finance à hauteur de 10 millions de livres sur cinq ans.

13. https://theodi.org/open-data-means-business

données des compagnies aériennes sur la fréquentation des lignes de vol domestiques. Les données ainsi récupérées sont agrégées puis traitées statistiquement, avant d'être mises à disposition par le BTS, contribuant à la propre stratégie des transporteurs.

L'incitation de la puissance publique au partage et à la mise en commun peut s'appuyer sur des initiatives privées ou à défaut, favoriser leur émergence. Dans de nombreux secteurs, ces initiatives existent : elles mériteraient d'être soutenues et valorisées (*voir encadré*).

S'agissant des secteurs que la mission estime prioritaires pour le développement de l'IA (voir les propositions plus loin), ces dispositifs de mutualisation de données pourraient être intégrés aux plateformes sectorielles dont la création est recommandée.

En matière de partage de données, de nombreuses initiatives mériteraient d'être valorisées

Fondée en 2015, la startup française Dawex ambitionne de lancer une bourse de la donnée en centralisant les échanges entre acteurs économiques. Contrairement aux courtiers en données (*data brokers*) qui achètent, mettent en forme et revendent les données, Dawex accompagne les entreprises dans la contractualisation de leurs échanges en données (contrat de licence, durée, territoire, usages, capacité à sous-licencier, etc.) et s'assure qu'ils respectent les réglementations en vigueur (notamment le RGPD) en fonction du territoire de production et d'exploitation des données. La startup permet également aux acteurs économiques de partager des données avec des entreprises partenaires, de façon privée. L'entreprise est lauréate du Concours d'innovation numérique et a intégré le Hub Bpifrance, après notamment un financement par la Caisse des Dépôts.

Il faut également mentionner l'apparition de nouveaux services se proposant d'agréger les données publiques et privées : en matière de transports et de mobilité, par exemple, l'entreprise française Transdev a récemment annoncé le lancement d'une plateforme qui ambitionne de devenir le « Wikipédia » mondial de la donnée ouverte : Catalogue (www.catalogue.global). L'entreprise s'emploie ainsi à collecter et rassembler ces données, à les nettoyer et les mettre dans un format ouvert. L'objectif est d'abaisser les barrières à la création de services innovants – notamment pour l'IA – en matière de transports et de mobilité.

En matière de transports toujours, La Fabrique des Mobilités semble être l'une des initiatives les plus abouties. Il s'agit du premier accélérateur européen dédié à l'écosystème de la mobilité. La Fabrique met en relation tous les acteurs, les projets, capitalise les retours d'expériences et les erreurs, pour faire émerger une culture commune de l'innovation. Elle s'adresse à des startups, des projets industriels et des territoires qui développent de nouvelles solutions de mobilités. La Fabrique leur donne un accès privilégié à des ressources en données tout en veillant à garantir un principe de réciprocité : pour récupérer les données mises en commun, il faut contribuer à l'augmentation de ce commun. Cette logique vertueuse conduit au développement

des ressources au bénéfice de l'ensemble des parties prenantes au projet. L'intérêt de la plateforme réside également dans le fait qu'il est possible de proposer des accès différenciés aux différents acteurs, selon la contribution et la nature de chacun.

Organiser des événements sectoriels pour sensibiliser et inciter au partage et à la mise en commun de données

Ce point est essentiel : il est du rôle de la puissance publique de favoriser les rencontres entre les entreprises détentrices de données – souvent de grands groupes privés, publics ou parapublics – et les startups ou les autres acteurs de l'économie numérique qui peuvent être intéressées par le fait de s'en saisir et les valoriser dans le cadre de solutions d'IA. Ces événements devraient également promouvoir le changement de paradigme à l'œuvre dans l'économie numérique et souligner les avantages de l'ouverture pour le développement de l'IA.

Ces rencontres pourraient prendre la forme d'un « Forum de la donnée » : lieu de dialogue, d'idéation et pour certains d'acculturation. Il s'agirait d'inciter au partage de la donnée « par l'exemple » en mettant en visibilité différentes initiatives dans lesquelles pourraient s'inscrire d'autres acteurs ou qui pourraient les inspirer pour penser une véritable stratégie pour valoriser leurs données, dans une logique de partage et de coopétition.

Accompagner et conseiller les entreprises dans la contractualisation de leurs échanges en données

L'État, enfin, pourrait jouer un rôle de médiation entre entreprises désireuses d'ouvrir leurs données mais ne sachant pas comment faire. En lien avec la CNIL, la Direction générale des entreprises (DGE) pourrait accompagner ces acteurs privés et établir un guide de bonnes pratiques ainsi que des contrats types.

L'objectif est simple : réduire les frictions et les réticences, culturelles ou organisationnelles, à ces partages de données. Lorsqu'il s'agit de partager ou de mutualiser, la gouvernance est régulièrement négligée. Pour pallier ces difficultés, la puissance publique pourrait recommander la création de fondations privées d'utilité publique visant à structurer sur le long terme les relations en données entre les acteurs économiques, le monde associatif et les écosystèmes sectoriels. Certains corpus de données pourraient être coproduits dans une logique de communs et de réciprocité opérés par de telles fondations.

Organiser l'ouverture au cas par cas de certaines données détenues par des entités privées

L'examen de la loi pour une République numérique a permis l'apparition d'une notion nouvelle, celle de données d'intérêt général (DIG) : une forme « d'open data privé » ayant vocation à s'appliquer aux données qui revêtent une importance particulière pour le fonctionnement efficace du marché ou des politiques publiques d'intérêt général. La loi portée par Axelle Lemaire a déjà ouvert cette possibilité pour les entreprises concessionnaires de service

public, pour les entreprises gestionnaires des réseaux publics de distribution de gaz naturel ou d'électricité ou à des fins statistiques. Une obligation similaire a été instaurée à l'égard de certaines données dans la loi dite Macron[14] et la loi dite de transition énergétique[15]. Il s'agirait d'aller plus loin, pour le développement des usages d'intelligence artificielle.

La mission conduite par Laurent Cytermann sur les données d'intérêt général[16] s'était montrée réservée sur la création éventuelle d'un statut général de « données d'intérêt général ». En cause : l'impossibilité d'inscrire des critères d'intérêt général ayant vocation à s'appliquer à l'ensemble des secteurs et le nécessaire équilibre avec les atteintes portées à la liberté d'entreprendre. Avec, en filigrane, le risque de compromettre l'émergence de nouveaux services, de fragiliser l'équilibre d'écosystèmes naissants et celui que l'ouverture bénéficie essentiellement aux grands acteurs de l'Internet. Notre mission est sensible à ces réserves, d'autant plus pertinentes que le débat sur l'IA a tendance à se sectoriser très rapidement. Il n'existe pas, en matière d'IA, d'approche type : le développement de l'IA repose sur des approches multiples, qui sont propres aux secteurs, leurs métiers, leurs problématiques et leurs données. Pour ces différentes raisons, un régime général d'ouverture des données privées n'apparaît ni tout à fait possible ni tout à fait souhaitable. Cette approche pourrait néanmoins contribuer à éviter une balkanisation des régimes sectoriels, compte tenu notamment des divers freins ou résistances selon les domaines considérés.

Cela étant, la plupart des acteurs auditionnés par la présente mission se montrent favorables à une ouverture progressive, au cas par cas et selon les secteurs, de certains jeux de données pour des motifs d'intérêt général. Cette ouverture pourrait prendre deux formes : un accès à ces données pour la seule puissance publique afin, par exemple, de nourrir une plateforme publique de données ; ou une ouverture plus large (open data), y compris pour les autres acteurs économiques. Le degré d'ouverture imposé à ces données doit prendre en compte un ensemble de facteurs, notamment l'impact économique, financier et concurrentiel sur les entreprises concernées. Le législateur devra particulièrement veiller à ce que ces dispositions ne dissuadent pas les entreprises de procéder à la collecte de ces données ou d'inventer de nouveaux modèles d'affaires. Il importe également d'anticiper le coût de cette ouverture, par exemple suite à l'ouverture d'une API ou l'anonymisation nécessaire des données personnelles. La révision prochaine de la directive sur la réutilisation des informations du secteur public annoncée par la Commission européenne sera l'occasion d'accélérer le mouvement d'ouverture des données publiques et de préciser les modalités d'un accès à des données privées pour des motifs d'intérêt général.

14. Loi 2015-990 du 6 août 2015 pour la croissance, l'activité et l'égalité des chances économiques et Loi 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance

15. loi 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte

16. Rapport de l'IGF, du Conseil d'État et du Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies sur les données d'intérêt général (septembre 2015)

Utilisations possibles des données d'intérêt général

	Exemples de données	Intérêt pour l'IA
Santé	Données de bien-être issues des objets connectés	Pré-diagnostic, aide à l'orientation dans le parcours de soin…
Transport-mobilités	Données issues de la vidéosurveillance des autoroutes	Entraînement des modèles de conduite autonome…
	Données issues du transport VTC : géolocalisation des chauffeurs, vitesse de circulation	Développement d'une régulation intelligente et dynamique du trafic, prédictions des congestions…
Environnement	Données du compteur Linky (consommations énergétiques individuelles)	Optimisation de la consommation des particuliers, meilleures prévisions et lissage de pics…
	Données de pollution de l'air	Messages d'alerte, aide à la décision, pilotage de la politique de la ville…
	Données relatives à la pluviométrie (*ex.* : coefficient de Montana, etc.) et à l'ensoleillement	Audits thermiques automatisés…

Favoriser sans attendre les pratiques de fouille de texte et de données (TDM)

Le cadre juridique européen doit favoriser les nouveaux usages sur la donnée. Dans cet objectif, la réforme en cours du cadre juridique relatif au droit d'auteur et à la protection des bases de données est l'occasion d'atteindre un équilibre plus favorable à la circulation des données et l'accès aux données de certains publics. Parmi les éléments de cette réforme, il en est un qui intéresse particulièrement le développement de l'IA au niveau national et européen : une exception aux droits d'auteur et des producteurs de bases de données pour la fouille de texte et de données (*text and data mining*).

La fouille de textes et de données désigne un ensemble de traitements informatiques consistant à extraire des connaissances selon un critère de nouveauté ou de similarité dans des textes ou des bases de données. Elle permet par exemple la recherche de « signaux faibles » difficiles à appréhender par la lecture cursive, le repérage ou l'analyse de comptes rendus d'expérimentations ratées. La fouille de texte et de données est porteuse de potentiels énormes pour la découverte scientifique et le développement de nouvelles connaissances.

Aujourd'hui, la reproduction des bases de données nécessaire à la mise en place de systèmes de fouille suppose un accord explicite du propriétaire de l'œuvre ou du détenteur des bases de données concernées – y compris lorsque l'accès à ces données est licite, par exemple lorsqu'un chercheur s'est acquitté des droits d'accès pour lire les articles présents dans la base d'un éditeur d'articles scientifiques. L'Irlande, le Royaume-Uni, les États-Unis, la Chine, le Japon, et plus récemment l'Allemagne et l'Estonie, ont donc adopté des dispositions législatives qui permettent aux chercheurs de réaliser des reproductions numériques d'une base de données à partir d'une source licite.

Par l'absence de cadre légal clair, l'Europe accuse un retard important pour la compétitivité de sa recherche et, donc, pour ses capacités d'innovation. Associé aux nouvelles méthodes d'apprentissage de l'intelligence artificielle, l'accès aux données ainsi autorisé représente un potentiel important pour de nombreux projets scientifiques, en particulier dans le cadre de recherches interdisciplinaires.

La question de savoir si une telle exception devrait être limitée à un cadre scientifique et à des fins non commerciales reste à trancher. Aussi notre mission est partisane d'une concertation large sur cette question. En effet, de nombreux acteurs – journalistes, associations, entreprises – pourraient largement bénéficier de cette exception, notamment pour le traitement automatisé d'informations accessibles en ligne. Aujourd'hui, un journaliste d'investigation qui souhaiterait utiliser les techniques de fouille de textes et de données pour analyser les contenus de sites – pour lesquels il dispose pourtant d'un accès licite – doit impérativement se conformer aux licences d'accès prévus par ces différents sites ou négocier individuellement avec chaque site l'autorisation d'opérer ce traitement automatisé.

La loi pour une République numérique a déjà consacré une telle exception pour la recherche publique. Ces dispositions sont encore en attente d'un décret d'application. Les chercheurs doivent pouvoir bénéficier de cette exception sans avoir à accuser un retard supplémentaire. D'autant qu'une fois entrés en vigueur, les textes européens en question devront faire l'objet d'une transposition en droit national, ce qui pourrait encore allonger ce délai.

Mettre en œuvre la portabilité dans une visée citoyenne

Le règlement européen sur la protection des données consacre un droit à la portabilité pour les individus sur les données personnelles qu'ils ont fournies à un fournisseur de service. La loi pour une République numérique va plus loin en permettant la récupération de toutes les données associées à un compte utilisateur (*voir encadré*).

La portabilité des données dans le règlement européen et la loi pour une République numérique

Le RGPD, dans son article 20, prévoit que « les personnes concernées ont le droit de recevoir les données à caractère personnel les concernant qu'elles ont fournies à un responsable du traitement ». L'article 48 de la loi pour une République numérique introduit un droit pour le consommateur de récupérer en toutes circonstances l'ensemble de ses données. Ce texte confère aux individus un droit à la portée plus large que le droit à la récupération consacré par le RGPD dans la mesure où il couvre l'ensemble des données et pas seulement les données personnelles. Les fournisseurs de services (uniquement les plus importants dans le cadre de la loi pour une République numérique) devront ainsi proposer une fonctionnalité gratuite permettant la récupération de tous les fichiers qu'il a mis en ligne ainsi que de « toutes les données résultant de l'utilisation du compte d'utilisateur du consommateur et consultables en ligne par celui-ci, à l'exception de celles ayant fait l'objet

d'un enrichissement significatif par le fournisseur en cause ». Il est également prévu que le consommateur puisse récupérer d'autres données associées au compte utilisateur dont le périmètre est précisé par décret.

Le droit à la portabilité des données est l'une des grandes innovations des récents textes français et européens. Concrètement, tout citoyen pourra exercer ce droit pour migrer d'un écosystème de services à l'autre sans pour autant abandonner son historique numérique.

L'exercice de ce droit pourrait être décliné pour des applications d'IA « citoyenne » : on peut envisager, à moyen terme, que des citoyens décident de récupérer leurs données auprès de différents services pour les mettre à disposition d'un acteur public ou de la recherche scientifique au profit de missions d'intérêt général. Les possibilités sont nombreuses et enthousiasmantes : en matière de santé par exemple, des communautés de patients pourraient répondre à l'appel d'un institut de recherche désireux de développer une intelligence artificielle permettant d'améliorer la détection ou le traitement de telle pathologie. Un maire pourrait solliciter de ses administrés les données qu'ils auraient récupérées de leurs applications de transport pour optimiser le trafic dans sa commune. Sur le modèle de l'appel au don du sang, il est possible d'imaginer des campagnes d'ampleur, au niveau municipal, régional ou national, visant à constituer des bases de données nécessaires au développement d'intelligences artificielles orientées sur des missions de service public.

L'intérêt d'un tel procédé est triple :

- il permettrait de constituer de nouvelles bases de données à usage de service public ;
- il contribuerait à donner un sens nouveau au droit à la portabilité, en permettant une meilleure circulation des données sous le contrôle exclusif des citoyens ;
- il peut être mis en œuvre dès l'entrée en vigueur du règlement européen, sans avoir à imposer des contraintes nouvelles aux acteurs privés.

Pour que le droit à la portabilité soit véritablement effectif, il est nécessaire d'outiller les utilisateurs. C'est la raison de l'émergence de nouveaux services, qui se proposent de gérer la relation technique et le transfert de données entre un service et un autre : l'initiative personaldata.io, par exemple, prend la forme d'un *chatbot*, un agent virtuel qui s'occupe d'effectuer les démarches auprès des fournisseurs de services pour faire valoir les droits de ses utilisateurs (droit d'accès à ses données, droit de rectification, d'effacement, de portabilité…). Dans une démarche similaire, les *personal information management systems* (PIMS) proposent un tableau de bord à leurs utilisateurs, une vue à 360° de leur vie numérique, les données dont disposent les différents services avec la possibilité d'en moduler les différents accès. Si ces initiatives, portées par des startups ou des associations d'activistes, en sont encore au stade embryonnaire, ce mouvement devrait profiter à plein de l'entrée en vigueur du futur règlement et mériterait d'être encouragé.

Réformer le cadre international applicable aux transferts de données

S'il est indispensable de constituer en France et en Europe de véritables écosystèmes autour de la donnée nécessaire au développement de l'IA, cette condition ne doit pas, pour autant, conduire à simplifier le transfert de données hors de l'Union européenne. Ce principe dit de libre circulation des données (*free flow of data*) est réclamé de longue date – dans le cadre d'un important *lobbying* – par les géants américains, qui y voient un intérêt stratégique si l'on considère l'asymétrie actuelle des flux de données.

Un tel dispositif, intégré aux traités de libre-échange, marquerait un recul fort en termes de souveraineté, de compétitivité et de protection des consommateurs européens. Il amputerait l'Europe de toute marge de manœuvre concernant les possibilités futures d'encadrer la circulation des données.

D'autant qu'en pratique, la libre circulation des données est rendue possible par des accords internationaux, notamment l'accord « *Privacy Shield* », qui organise une grande partie du transfert des données entre l'Union européenne et les États-Unis. Cet accord, qui fait suite à l'invalidation de son prédécesseur suite aux révélations d'Edward Snowden, présente encore un grand nombre de zones d'ombres et ne donne pas suffisamment de garanties à la protection des données personnelles des Européens. C'est pourquoi il doit être conçu comme un dispositif transitoire.

Il est nécessaire de s'atteler à la négociation d'un accord plus robuste juridiquement, pour garantir la protection des données personnelles de tous les Européens, dans un cadre suffisamment stable pour nos entreprises. Il s'agit également de prendre la pleine conscience de l'asymétrie existante en matière de flux de données entre les États-Unis et l'Union européenne. L'entrée en vigueur, en mai prochain, du RGPD et l'harmonisation des législations nationales, devrait être l'occasion d'une négociation sur des bases plus solides.

Consolider et rendre visible l'écosystème français de l'IA

L'Europe et la France disposent d'un tissu industriel et académique d'excellente qualité. Elles sont en mesure d'exister pleinement sur la scène internationale. Néanmoins nos acteurs souffrent d'un véritable manque de visibilité. À l'inverse, les géants asiatique et nord-américain (BATX et GAFAM) permettent à l'ensemble de l'écosystème qu'ils animent de rayonner à l'international. Sans ces puissantes forces fédératrices, il nous faut parvenir à renforcer les liens entre les acteurs de notre écosystème dans un double objectif : accroître leur visibilité et renforcer la concurrence sur le marché domestique ainsi qu'à l'export.

Ce manque de visibilité s'explique également par une capacité moindre des acteurs de l'écosystème à promouvoir et à communiquer sur leurs capacités et leurs réussites. Pour prendre un exemple, alors que les exploits des grandes plateformes sont souvent repris dans les médias grand public, la victoire, face à des concurrents d'envergure mondiale, de la société française Therapixel lors d'un concours international dans le domaine de l'imagerie médicale, n'a été que très peu médiatisée en France. Les discours et les mentalités doivent évoluer pour promouvoir plus largement l'écosystème national.

Créer un guichet unique d'information sur l'IA

On dénombre au moins deux difficultés rencontrées chez les acquéreurs potentiels de solutions d'IA : la formalisation du besoin et l'identification des acteurs permettant d'y répondre. Le cas le plus fréquent est le suivant : une entreprise dispose d'une manne historique de données ; elle souhaite les valoriser pour améliorer ses systèmes, pour générer des usages, des opportunités qu'elle n'aurait pas anticipés. Par défaut, cette entreprise aura tendance à choisir la facilité. Elle s'adressera naturellement aux géants internationaux de la discipline, au discours et à la communication parfaitement rodés, qui leur proposeront d'assurer, en échange de ces données (ou d'avantages moins visibles liés à l'utilisation de ces données), un triple rôle de conseil, de conception et de développement. C'est là où le bât blesse : pour une majorité de ces applications, il existe bien souvent des acteurs de moindre envergure qui sont aptes à répondre à ce besoin avec des solutions plus performantes et parfois moins onéreuses. Ces acteurs gagneraient à être mieux identifiés et identifiables pour garantir un choix plus éclairé.

La visibilité de notre écosystème est un facteur clé de sa réussite

Pour accompagner les futurs acheteurs de solutions d'IA, il est ainsi recommandé d'instaurer un guichet unique afin de les conseiller sur la nature de leurs besoins et les acteurs qu'il leur serait pertinent de consulter.

Créer des labels pour augmenter la visibilité de l'offre domestique en IA

Mettre en place un label rattaché à la French Tech et des prix d'innovation

La visibilité de notre écosystème est donc un facteur clé de sa réussite. L'exemple de la *French Tech* doit à cet égard nous inspirer : en quelques années d'existence, ce label a largement contribué à fédérer, mettre en réseau et rendre visible l'écosystème numérique français à l'international. Ce modèle pourrait utilement être complété d'une spécialisation dans le domaine de l'IA. Ce label, rattaché à la *French Tech*, pourrait désigner spécifiquement les acteurs français de l'IA : laboratoires académiques, industriels ou communautés d'intérêts. Il pourrait servir de base à l'organisation d'événements et à une communication spécifique autour de la recherche et de l'innovation en IA (meetups, conférences, communications d'entreprises…), contribuant ainsi à consolider notre écosystème.

Mettre en place des prix « d'innovation de terrain »

Passés ces enjeux de visibilité et de lisibilité, la question du risque perçu reste entière. Une startup développant une solution d'IA innovante devra bien souvent braver la réticence des grands groupes et de la puissance publique, qui rechignent à adopter des solutions considérées, parfois à tort, comme trop risquées. La mise en place de prix « d'innovation de terrain » pour les solutions d'IA pourrait permettre de sécuriser ces potentiels acheteurs. Ils pourront récompenser et identifier les entreprises qui ont délivré des solutions opérationnelles ayant donné satisfaction aux acheteurs. Ces prix pourraient dans un premier temps être déployés dans le cadre de la commande publique avant, pourquoi pas, de s'étendre aux grands groupes.

Il s'agit de constituer une vitrine publique pour mettre en avant les entreprises dont les solutions ont été éprouvées par la pratique. Et de rassurer, du même coup, de futurs acheteurs sur la capacité de ces solutions à répondre à leurs besoins de manière pérenne.

Ce label et ces prix devront être accompagnés par la mise en place d'un portail d'information public afin de contribuer à l'objectif de visibilité, et le guichet unique d'information mentionné au devra communiquer largement sur ces labels dans ses démarches d'accompagnement.

Consolider les filières d'acheteurs

Le développement et la constitution de l'écosystème français et européen de l'IA doivent permettre l'émergence d'une offre importante et de qualité. Dès lors apparaît la nécessité de la mettre au-devant d'une demande claire et structurée. Cette dernière fait aujourd'hui défaut du côté des potentiels utilisateurs de l'IA. Pour cause : s'ils perçoivent toutes les potentialités de ces technologies, les acteurs traditionnels restent peu matures sur la question. Largement occupées à démêler la véritable innovation du *buzz* entourant l'IA, ces entreprises n'en sont bien souvent qu'au stade de la réflexion sur les transformations de leurs métiers et de leurs modèles d'affaires ou, pour les plus avancées, à des expérimentations qui ne débouchent pas toujours sur des développements opérationnels. Il faut cependant avoir conscience que l'on ne part pas d'une situation d'adhésion spontanée : avant de se transformer et de se saisir du sujet de l'IA, il faut commencer par dissiper les peurs qui lui sont associées.

Aussi, bien que la taille critique pour le marché soit à chercher du côté de l'Europe, il est essentiel que les acteurs économiques français se saisissent fortement de l'IA. Il s'agit de mieux identifier et appréhender les enjeux des filières industrielles, de faire émerger des besoins propres et des stratégies de transformation. L'objectif : structurer un marché domestique et limiter autant que possible les achats extraeuropéens quand il existe de meilleures alternatives.

Amorcer, au niveau des acteurs économiques utilisateurs d'IA, des stratégies de transformation

Le soutien à l'offre en IA doit donc s'accompagner d'une structuration de la demande du côté des utilisateurs. Les acteurs économiques traditionnels doivent se mettre en capacité d'acheter de l'IA mais pour ce faire, ils ne peuvent faire l'économie d'une réflexion stratégique s'agissant de leur transformation interne (modèles d'activités et d'affaires, aspects techniques), de leurs attentes et besoins.

Au niveau national, différentes instances au sein de la direction générale des entreprises ont vocation à initier cette réflexion et à amorcer des stratégies de dialogue et de transformation : le Conseil national de l'industrie et ses comités stratégiques de filières, la Commission nationale des services ou encore la Commission nationale de concertation et du commerce.

S'agissant d'une technologie qui peut se déployer sur l'intégralité d'une chaîne de valeur, ces dialogues devront naturellement impliquer l'ensemble

des acteurs de cette chaîne : grands groupes, intégrateurs, startups, PME, grandes plateformes ce qui amènerait dans le cas contraire à n'avoir qu'une vision partielle de l'écosystème.

Ces réflexions devront être complétées d'actions de formations à destination des petites et moyennes entreprises. Celles-ci pourraient s'inscrire dans le plan plus global de numérisation des PME, en grande partie porté par les régions, dont l'IA doit être un axe transverse.

Faciliter le dialogue entre les acteurs de l'IA et les régulateurs

Le développement de solutions d'IA, pour certains secteurs, nécessite de prendre en compte très en amont les spécificités réglementaires de celui-ci. C'est le cas des réglementations sectorielles s'appliquant par exemple aux marchés et aux acteurs financiers qui relèvent de l'Autorité de contrôle prudentiel et de résolution (ACPR) ou de l'Autorité des marchés financiers (AMF) ; des réglementations concernant la sécurité des systèmes d'information qui relève de l'Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information (ANSSI) ; de la régulation de l'utilisation des données à caractère personnel opérée par la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL).

Les porteurs d'innovations en IA peuvent être confrontés à des incertitudes quant à la compatibilité de leur modèle d'affaires au cadre réglementaire et au risque de sanctions associées. En particulier lorsqu'ils sont porteurs d'innovations de rupture, d'autant plus que les sanctions sont très significatives (dans le cadre du RGPD, les amendes peuvent atteindre 4 % du chiffre d'affaires mondial de l'entreprise).

Le dialogue avec les autorités sectorielles mériterait donc d'être encouragé, en se dotant des moyens techniques et humains pour le conduire. Certaines autorités sectorielles ont d'ailleurs déjà constitué des équipes dédiées à l'étude et l'accompagnement des projets innovants. C'est le cas, par exemple, de l'Autorité de contrôle prudentiel et de résolution ou de l'autorité de contrôle des banques et des assurances, adossée à la Banque de France, qui a constitué un pôle FinTech Innovation en juin 2016.

Au manque d'accompagnement, souvent exprimé, s'ajoute un problème de délai de réponse de certaines autorités sectorielles. Face à des cycles d'innovation qui n'en finissent pas de se réduire et des jeunes pousses dont la croissance est fragile, l'enjeu est critique. Pour pallier ces difficultés, un guichet unique d'accompagnement des acteurs de l'innovation pourrait être instauré et accompagné d'une contrainte de délai de réponse sous 3 mois. Enfin, la possibilité de recours à un médiateur indépendant pourrait être garantie pour surmonter certains cas particuliers tels que l'auto contradiction des autorités de régulation.

S'inspirer de : French Tech Central

French Tech Central est un lieu de passage, d'information et de rencontre pour toutes les startups françaises, situé dans le campus de startups Station F. 30 services publics y sont présents en permanence ou à temps partiel, avec

pour mission de conseiller et orienter les entreprises. Ces dernières peuvent ainsi solliciter un rendez-vous privé avec un représentant d'un ou de plusieurs services publics *via* une plateforme en ligne dédiée, ou encore assister à des ateliers d'information des administrations adaptés aux problématiques rencontrées par les startups.

La proximité de ces administrations avec l'écosystème de startups doit permettre de tester de nouvelles offres de services publics. Cette expérimentation constitue en effet une première étape d'un projet qui vise à concerner l'ensemble du territoire, et en particulier les 13 Métropoles French Tech, à partir du premier semestre 2018.

Soutenir la constitution d'acteurs capables de délivrer des solutions industrielles d'IA

Les solutions d'IA correspondent à un composant singulier qui a vocation à s'intégrer dans des systèmes beaucoup plus complexes. Ces systèmes peuvent être difficiles à appréhender, en particulier pour de petites structures qui tentent de pénétrer sur des marchés européens, voire mondiaux. Deux cas de figure se présentent : soit par nature l'entreprise est en mesure de passer à l'échelle et de directement viser un marché français, européen et mondial avec une capacité à exister par elle-même, soit ce n'est pas le cas et elle devra s'intégrer dans un ensemble plus large en tant que brique élémentaire. Ce second cas de figure impose de disposer d'intégrateurs industriels de briques élémentaires capables d'adresser les différents marchés spécialisés et leurs spécificités. L'hétérogénéité du paysage industriel européen de l'IA amène un constat : le seul moyen d'exister sur une part assez large des verticaux métiers semble être d'organiser des écosystèmes comprenant des acteurs de taille et d'implication variable, de la startup à l'intégrateur.

L'achat public reste insuffisamment orienté vers l'achat innovant

Il faudra inciter à la constitution d'écosystèmes centrés sur les filières utilisatrices d'IA, animées par de grands groupes et intégrateurs du domaine au travers de partenariats d'entreprises. En pratique, trois leviers peuvent être mobilisés : le dialogue des filières utilisatrices présenté plus haut ; l'incitation dans le cadre de la commande publique à la constitution de groupements d'entreprises ; la création d'un dispositif d'information pour aider les entreprises à trouver des partenaires dans le cadre de réponses à des appels d'offres publics ou privés.

Une difficulté persiste cependant dans la constitution et l'animation de ces écosystèmes. En effet, l'objectif des intégrateurs est de fournir des solutions industrielles, réplicables, concurrentielles et économiquement viables à partir de briques élémentaires mises à disposition par les acteurs de l'innovation. Pour chacune de ces briques, un niveau de maturité faible implique une plus forte implication dans son intégration alors qu'un produit mature peut être porté par un intégrateur de façon autonome. De plus, dans un souci de maîtrise du produit, un intégrateur peut souhaiter avoir accès en profondeur à une brique élémentaire dont il fait l'intégration. Ceci peut être perçu comme un risque en matière de propriété intellectuelle. Afin de cadrer ces risques et ces niveaux d'implication, la mise en place de contrats types d'écosystème et de guide de bonnes pratiques permettrait d'établir un climat de confiance entre les acteurs.

Faire levier sur la commande publique

Le volume financier que représente l'achat public est complexe à évaluer. Il est estimé à 71,5 milliards d'euros annuels pour l'État, les établissements publics et les collectivités (en fonction de ce l'on y inclut, certaines estimations évoquent un chiffre de 200 milliards). De la même façon que les acteurs privés doivent se saisir des problématiques de l'IA et en devenir des acheteurs, la puissance publique devra également y avoir recours pour ses propres besoins. Ainsi, la mobilisation de ces capitaux pourrait remplir un triple objectif : satisfaire certains besoins de l'État en matière d'IA, soutenir l'écosystème avec la commande publique et l'aider à constituer une vitrine exportable en Europe et à l'international.

L'achat public reste insuffisamment orienté vers l'achat innovant. Les raisons sont multiples : un manque de culture des acheteurs notamment en matière de procédures adaptées à l'achat innovant, une aversion au risque juridique dans l'exploitation de la réglementation actuelle, et une aversion au risque opérationnel dans l'achat de solutions innovantes. En effet, l'achat doit remplir un besoin de la puissance publique et est soumis à une obligation de résultat, elle-même répercutée sur le titulaire du marché. Dans cette perspective, l'achat innovant représente une prise de risque sur la qualité, la performance et la soutenabilité du produit délivré qui, en cas de défaut, pourra être imputée à l'acheteur public.

Enfin, la réglementation exclut expressément, sauf dans le cadre des exceptions, l'exercice de la préférence européenne dans la commande publique quand bien même il s'agit d'un marché extrêmement déséquilibré vis-à-vis des acteurs étrangers. Un défi supplémentaire consiste donc à mobiliser la commande publique au profit de l'écosystème européen de l'intelligence artificielle. D'autant plus qu'à l'échelle internationale, certains États n'hésitent pas à jouer de la préférence nationale : l'exemple emblématique est celui du *Buy American Act* aux États-Unis. Il ne faut donc pas être naïf et user au mieux des armes économiques dont nous disposons.

Ajuster les seuils d'application de la réglementation aux niveaux européens

En France, le seuil financier à partir duquel la puissance publique est soumise à l'ordonnance sur les marchés publics est de 25 000 euros HT, seuil au dessus duquel l'acheteur a pour seules obligations de choisir une offre pertinente, de faire une bonne utilisation des deniers publics et de ne pas contracter systématiquement avec un même fournisseur lorsqu'il y a plusieurs offres susceptibles de répondre à son besoin. Les seuils à partir desquels la réglementation européenne s'applique sont cependant beaucoup plus élevé[17] : 144 000 euros HT pour les marchés publics de fournitures et de services de l'état ; 221 000 euros HT pour les marchés publics de fournitures et de services des collectivités territoriales et pour les marchés publics de fournitures des autorités publiques centrales opérant dans le domaine de la défense ; 443 000 euros HT pour les marchés publics de fournitures et de services des entités adjudicatrices.

17. D'après la mise à jour de 2018 : règlements 2017/2364, 2017/2365, 2017/2366 et 2017/2367

Afin de fluidifier l'exercice de l'achat public dans le domaine de l'IA, il pourrait être utile de ramener les seuils d'application de l'ordonnance sur les marchés publics aux niveaux européens.

Mettre l'achat public au service du soutien à la base industrielle européenne

Il ne peut y avoir de saine concurrence entre les acteurs européens et les acteurs extraeuropéens si les premiers ne sont pas en mesure de tenir la course et s'il n'existe pas de réciprocité dans l'accès à la commande publique. C'est particulièrement vrai à un moment où à l'échelle internationale, l'asymétrie dans l'industrie mondiale de l'IA, et plus largement du numérique, est de plus en plus criante.

Il s'agit pour la France et l'Europe d'un enjeu majeur de souveraineté : sur l'IA, mais plus généralement dans tous les domaines, le risque est grand de se retrouver dépendants de technologies d'origine étrangère sans avoir d'autre choix que d'y recourir dans les conditions fixées ailleurs ou de se priver d'avancées technologiques majeures. S'agissant de l'IA et du numérique, l'État doit ainsi s'assigner un objectif de renforcement de la base industrielle et technologique pour les secteurs clés d'importance stratégique.

Il s'agirait donc d'introduire au niveau européen une possibilité pour la puissance publique, dans le cadre de la passation de ses marchés, de tenir compte de l'état de la base industrielle et technologique européenne pour, par exemple, privilégier un acteur européen lorsque le déséquilibre de la concurrence est manifeste. Un tel ajout ne pourra se faire que dans le cadre d'une volonté et d'une négociation européenne.

Dynamiser l'achat public innovant

Les administrations et leurs opérateurs ne disposent pas tous de la même force d'ingénierie contractuelle. Il est donc essentiel de pouvoir capitaliser sur l'expérience déjà acquise par ceux qui ont pratiqué ces procédures, notamment du côté de la direction des achats de l'État et de la direction générale de l'armement. Cette diffusion des retours d'expérience pourrait se faire au travers de référentiels documentaires, d'un échange de bonnes pratiques ainsi qu'une communication plus importante sur les réalisations concrètes.

En lien avec les directions des affaires juridiques, il s'agirait ainsi de produire des référentiels documentaires et des guides de bonnes pratiques afin d'acculturer l'acheteur public aux procédures innovantes et limiter le risque perçu dans l'exercice de l'achat innovant. La constitution de réseaux d'acheteurs dépasse le cadre de l'IA, mais celle-ci pourrait fortement bénéficier de cette acculturation.

Deux procédures mériteraient d'être prioritairement développées. D'abord, celle du partenariat d'innovation. Celle-ci permet, dans une procédure de marchés, de couvrir le besoin de la phase de recherche amont et d'expérimentation jusqu'à la phase d'achat du produit opérationnel, sans avoir à remettre les acteurs en concurrence entre ces différentes phases. Ce point est l'une des difficultés majeures liées à l'exercice de l'exception de R&D sur laquelle on reviendra au : à l'issue des travaux, en cas de réussite et de volonté de passer à une étape opérationnelle, l'acheteur public a pour obligation de procéder à une remise en concurrence alors même que les expérimentations auraient été satisfaisantes et prometteuses. Pour ne pas arranger la situation, il n'est pas rare qu'à l'issue de cette remise en concurrence, la solution déjà

expérimentée n'emporte pas le marché de réalisation de la solution finale, souvent pour des raisons financières.

Un deuxième dispositif d'intérêt pour l'achat innovant est celui du dialogue compétitif. Il s'agit d'une solution adaptée à la conclusion de marchés complexes, pour lesquels l'acheteur public ne peut définir seul et à l'avance les moyens techniques qui vont répondre à son besoin, ou encore pour lesquels il n'est pas en mesure d'établir un montage juridique ou financier adapté. Cette procédure offre aux acheteurs publics des possibilités bien plus larges de dialoguer avec les candidats au marché, afin d'améliorer la qualité et le caractère innovant des propositions qui leur sont faites. Il ne s'agit donc pas d'un facteur d'accélération.

Une communication plus large pourrait être faite par les acheteurs qui se sont essayés avec succès à des procédures innovantes, d'autant plus lorsqu'elles n'ont été que très peu pratiquées comme c'est le cas du partenariat d'innovation. Il faut cependant garder à l'esprit que la mise en œuvre de ces procédures, coûteuses en ressources, requiert une très forte implication des administrations.

Mettre en place une protection de l'acheteur public pour l'inciter à l'ingénierie contractuelle

Contrairement aux idées préconçues, la réglementation sur les marchés publics offre certaines libertés à l'acheteur public. C'est l'aversion au risque des signataires des marchés publics qui limite l'utilisation de certains dispositifs et, plus généralement, l'innovation en matière d'ingénierie contractuelle : il ne suffit pas d'instiller de la souplesse dans les procédures, il faut également considérer le risque associé à la signature d'un marché qui engage la responsabilité personnelle de l'autorité signataire. Cela peut naturellement conduire à adopter des réflexes conservateurs, à s'appuyer sur des méthodes éprouvées, y compris lorsque la réglementation accorde des marges de manœuvre accrues.

Afin de limiter ce risque et inciter à l'ingénierie contractuelle innovante, il pourrait être mis en place une protection de certains acheteurs. Ce dispositif pourrait prendre la double forme d'une identification spécifique de type acheteur innovant officialisant la prise de risque demandée afin qu'un échec ne soit pas pénalisant. Ceci doit être assorti d'une responsabilité en cascade, où la responsabilité de l'État pourrait être recherchée en priorité, sauf à prouver une malveillance ou un abus délibéré. L'objectif : créer un terrain favorable à de l'expérimentation contractuelle, qui comprend structurellement une part de risque qu'il s'agit d'accepter et protéger efficacement les porteurs de ces expérimentations.

Généraliser l'emploi des exceptions à l'ordonnance sur les marchés publics

La puissance publique dispose de marges de manœuvre spécifiques dans le cadre d'exceptions particulières : les marchés de recherche et de développement, les marchés concernant les intérêts essentiels de l'État et les marchés de défense ou de sécurité[18]. Dans ces différents cas de figure, elle peut s'extraire des contraintes de règles de procédure classiques pour par exemple exercer

18. Ceux-ci sont cependant régis par un décret spécifique

une préférence européenne, nationale, ou encore passer des marchés en gré à gré selon des procédures adaptées. Sur le papier, ces exceptions donnent beaucoup de libertés à l'acheteur public. En pratique, l'acheteur public est frileux dans la mesure où les conditions d'usage des exceptions ne sont pas parfaitement cadrées.

Il est donc nécessaire de généraliser l'emploi de ces exceptions lorsque cela est possible et de les assortir de la production de guides de bonnes pratiques qui pourraient contribuer à sécuriser l'acheteur public, s'agissant notamment de l'exception de recherche et développement.

L'exception concernant les intérêts essentiels de l'État soulève quant à elle des considérations spécifiques. En particulier, il n'est pas toujours aisé de déterminer avec précision les éléments qui en relèvent ou non. Dans le domaine de la santé par exemple, on peut aisément considérer que la constitution et la maîtrise d'un entrepôt de données de santé des citoyens auraient vocation à s'inscrire dans le cadre de cette exception. En tout état de cause, il apparaît nécessaire d'en préciser la portée.

Il nous faut tirer parti des avantages comparatifs et des niches d'excellence de notre économie

Un choix clair : mettre l'accent sur quatre secteurs stratégiques

Pour renforcer l'écosystème français et européen de l'intelligence artificielle, il nous faut tirer parti des avantages comparatifs et des niches d'excellence de notre économie. En d'autres termes, il nous faut déterminer les secteurs prioritaires dans lesquels notre industrie peut sérieusement envisager jouer un rôle de premier plan au niveau mondial et concurrencer les géants extraeuropéens. Les contraintes budgétaires nous imposent par ailleurs de refuser des logiques de saupoudrage : le soutien public à l'innovation doit se concentrer sur les secteurs où les opportunités sont les plus importantes à court et moyen termes.

Ces choix portent sur des secteurs qui ont acquis une maturité suffisante pour lancer des opérations de transformation majeures qui nécessitent des investissements importants. Pour autant, **il faut favoriser au maximum les expérimentations sur l'ensemble des autres secteurs qui permettent, à peu de frais, de les faire croître en maturité et d'évaluer les potentialités offertes par l'IA.**

Comment identifier ces secteurs stratégiques ?

Impact : celui-ci doit être porteur de profondes transformations d'un point de vue économique, mais également en termes d'intérêt général ;

Écosystème : la capacité à amorcer et entretenir une dynamique impose de disposer au préalable d'un socle d'acteurs publics et privés solides sur lequel s'appuyer ;

« Carburant initial » : la nature de celui-ci peut prendre des formes diverses, mais il faut disposer d'une façon ou d'une autre de matière mobilisable sur

le court terme. Dans ce contexte, l'aspect financier joue un rôle moindre. Il apparaît, au moins dans un premier temps, plus important de fournir un (ou plusieurs) des éléments suivants : données, cas d'usage, connaissances métier, ressources, cadre souple, marché… Les données sont évidemment un élément essentiel et constituent un avantage comparatif important.

Finances et ressources : l'élément financier reste bien sûr crucial tout en étant insuffisant, les secteurs identifiés doivent être en mesure de mobiliser à la fois des financements publics et des financements privés, ainsi que les ressources humaines nécessaires ;

Marchés et ouverture : la capacité pour les acteurs à faire valoir leur savoir-faire sur des marchés publics, privés, en France et à l'international est également importante dans une perspective de passage à l'échelle et afin de voir émerger des écosystèmes de grande envergure ;

Dualité et percolation des domaines : quand bien même l'effort est particulièrement mis sur certains domaines, ceux-ci sont également choisis pour permettre un effet de percolation des technologies (c'est-à-dire qu'une technologie développée dans un domaine sera rapidement transposable à un autre).

Impulsion de l'État : enfin, il faut que les secteurs nécessitent une intervention initiale forte de l'État pour se transformer, ce qui n'est pas valable pour une grande majorité de secteurs industriels.

En considérant ces exigences, notre mission recommande de retenir quatre secteurs en particulier : santé, transports-mobilités, environnement et défense-sécurité. Tous représentent un défi majeur du point de vue de l'intérêt général et sont susceptibles de cristalliser l'intérêt et l'implication continue des acteurs publics et privés. L'État peut jouer un rôle fondamental dans la structuration de la politique industrielle de l'IA dans ces secteurs : en apportant la substance nécessaire pour amorcer le mouvement et la structuration de l'écosystème, en jouant le rôle de premier client par la commande publique et en créant les conditions nécessaires à l'émergence d'un marché capable de s'entretenir seul et dans la durée. Pourquoi ne pas choisir de privilégier d'autres secteurs, d'autres niches d'excellence française et européenne – on peut penser à la banque ou à l'assurance ? Car il apparaît que leur développement tient moins d'une initiative publique que d'une impulsion privée, largement amorcée en l'état et pour laquelle une intervention n'est, de l'avis des acteurs en présence, pas souhaitable. Pour les domaines retenus en revanche, une action forte de l'État est indispensable à l'amorçage de la dynamique.

Notre mission recommande de retenir quatre secteurs en particulier : santé, transports-mobilités, environnement et défense-sécurité

Pour l'ensemble des domaines retenus, l'écosystème à considérer est large et comprend notamment les entreprises, les chercheurs, les professionnels des métiers ainsi que les ministères et administrations concernées. Les freins actuels, les blocages constatés dans ces domaines ne sont généralement pas le fait de ces différents acteurs. Au contraire, on sent bien souvent chez eux

à la fois une conscience des enjeux et une réelle envie d'un développement de l'IA dans leur domaine. Les causes sont donc à chercher ailleurs :

- une limite organisationnelle : les administrations ne sont pas structurées de façon à accueillir de l'IA, celle-ci étant par nature transverse à leurs missions ;
- un héritage historique : l'appropriation du sujet se heurte souvent à une culture et des modes de fonctionnement défavorables au développement de l'IA, en particulier pour ce qui relève des processus, des achats, des pratiques en matière de systèmes d'information, de l'exploitation, de l'acquisition et de l'ouverture des données ;
- un changement de paradigme : l'IA met notamment en défaut les logiques classiques d'expression du besoin et de spécification dans un contexte où les besoins émergent parfois de pair avec les solutions ;
- un effet de silo : le manque de réflexion transversale et prospective sur des usages futurs conduit à privilégier des systèmes conçus en vase clos, incompatible des développements futurs de l'IA. Ce manque s'accompagne souvent de la crainte de perdre la maîtrise sur ses données, une crainte qui entretient ces logiques de silos et limite grandement la circulation des données (y compris en interne) ;
- une absence matérielle de plateformes adaptées aux contraintes des secteurs, qui rassemblent les données d'intérêt pour l'IA, les moyens de calcul pour les exploiter et les piles logicielles nécessaires au développement d'applications expérimentales et opérationnelles ;
- les cadres réglementaires et juridiques qui peuvent sembler inadaptés aux besoins liés au développement de l'IA.

Mener une politique sectorielle autour de grands enjeux

S'agissant de l'intelligence artificielle, c'est un changement fondamental des logiques traditionnelles de la politique industrielle qu'il nous faut porter. En effet les freins évoqués, la complexité du paysage industriel – startups, PME, jusqu'aux grands groupes industriels – et le rythme effréné imposé par ces technologies font que ces dernières se prêtent difficilement aux outils classiques du soutien à l'innovation. Les difficultés techniques associées à l'IA sont réelles. On tend cependant à sous-estimer largement celles qui relèvent des dimensions organisationnelles, structurelles et culturelles. Au sein d'une même organisation, les difficultés relèvent tout autant de la capacité de différents acteurs à communiquer entre eux. On peut prendre l'exemple de la gouvernance de la donnée qui nécessite de mettre d'accord les métiers, les ingénieurs, les chercheurs, les administrateurs. En ce sens, l'IA heurte l'héritage historique des organisations.

Dans les secteurs prioritairement retenus, cette transformation doit s'articuler sur trois axes.

Un soutien à l'innovation pensé de bout en bout, d'abord. Le développement d'application d'IA se fait à la confluence des données, des métiers et des algorithmes sur un mode itératif. Aussi la simple émergence d'une technologie en IA innovante ne suffit pas à permettre une percolation pour un usage dans l'industrie ou la sphère publique : les technologies d'IA ont vocation

à s'intégrer dans des systèmes plus larges, plus complexes, dont elles ne sont qu'un composant. À la frontière entre une transformation globale des organisations et une transformation des métiers, le soutien à l'IA doit être pensé à tous les niveaux : depuis les phases amont, notamment en fournissant la matière (données, capacités de calcul, usages, connaissances métier) jusqu'à leur diffusion et leur commercialisation. Cela nécessite notamment d'impliquer d'emblée l'ensemble des parties prenantes (industriels, administrations, métiers).

Une mobilisation et une structuration des écosystèmes autour de grands enjeux et défis sectoriels, ensuite. Il n'est pas question de développer de l'IA pour elle-même, comme une fin en soi, mais justement de canaliser cette précieuse énergie pour le développement d'applications, d'usages qui contribuent à améliorer notre performance économique ainsi que le bien commun. Donner un sens au développement de l'IA, en somme.

Il n'est pas question de développer de l'IA pour elle-même, comme une fin en soi, mais justement de canaliser cette précieuse énergie pour le développement d'applications, d'usages qui contribuent à améliorer notre performance économique ainsi que le bien commun

Les organisations doivent enfin se rendre accueillantes à l'innovation, qu'elle soit technologique, d'usage ou de modèle d'affaires. Le développement de l'IA nécessite de repenser les méthodes traditionnelles de la conduite de projets pour être en mesure de développer, d'expérimenter et, le cas échéant, d'échouer dans des cycles courts et dynamiques. Ces exigences – propres au numérique en général et à l'IA en particulier – contrastent bien souvent avec les méthodes classiques de la gestion de projet, qui reposent généralement sur des logiques beaucoup moins agiles, sans doute parce que les objets à réaliser sont mieux définis et les besoins, plus clairs.

De ce point de vue, le modèle de l'agence américaine *Defense Advanced Research Projects Agency* (DARPA) est inspirant. Créée en 1958, cette institution rattachée au Département de la Défense est en effet à l'origine de nombreuses révolutions technologiques : le réseau ARPANET, ancêtre de l'Internet, l'ordinateur à interface graphique, le GPS… La DARPA est également à l'origine de l'impulsion initiale sur le véhicule autonome.

Chercher à répliquer ce modèle serait un non-sens. De part et d'autre de l'Atlantique, la force de frappe financière, les méthodes, la culture et les mentalités sont différentes. Aussi la réussite de la DARPA tient pour beaucoup à un contexte historique d'intégration très forte du complexe militaro-industriel, dont on ne trouve pas de réel équivalent en France et en Europe.

Néanmoins certaines méthodes de cette agence et l'esprit de leur mise en œuvre devraient nous inspirer (*voir encadré*). Au regard, notamment, de la volonté du Président de la République de créer une Agence européenne d'innovation de rupture[19], permettant de financer des technologies et sciences émergentes, comme l'IA.

19. Le Président Macron a détaillé cette volonté dans son discours sur l'Europe du 26 septembre 2017

S'inspirer de ce qui fait la force des programmes DARPA

Les directeurs de programme : ce sont des experts reconnus dans leur domaine, capables d'identifier et de porter les applications et technologies prometteuses. Ils sont indépendants : ils prennent les décisions de façon autonome pour éviter les frictions dues aux chaînes de décisions hiérarchiques et sont nommés sur une durée relativement courte (3 à 5 ans) pour maintenir cette dynamique et cette expertise ;

La prise de risque : par nature, les projets ambitieux techniquement comportent une part importante de risque. Cette prise de risque doit faire partie intégrante de la culture des projets et il ne faut pas avoir peur d'un taux de succès faible de l'ordre de 10 %.

Des cycles courts et dynamiques : les développements se focalisent en priorité sur des preuves de concept ou prototypes qui fonctionnent et au potentiel de marché important. Ils se font dans des délais courts (maximum 5 ans) avec une capacité à démarrer et stopper immédiatement les projets au fil du temps et au gré des succès et des échecs.

Des programmes aux objectifs précis : il s'agit d'être précis sur les objectifs à atteindre en prenant garde de ne pas être prescriptifs sur les technologies aptes à résoudre les problèmes posés.

Le financement : chaque programme est doté d'un budget important et finance plusieurs équipes tout en en maintenant un nombre réduit (3 à 5), et les délais dans lesquels les projets doivent être menés sont réduits.

Pour que ces modalités soient effectives, il faudra être particulièrement vigilant sur trois points : l'acceptation de la prise de risque, la capacité à mettre en œuvre les cycles courts et dynamiques ainsi que le financement. En effet la prise de risque pose problème pour des raisons culturelles : l'argent public doit être dépensé pour répondre à des besoins précis et les résultats doivent être garantis. Il faut donc ici faire un choix politique fort et l'afficher pour le mettre en œuvre.

La capacité à mettre en œuvre les cycles courts est quant à elle souvent freinée par les supports contractuels, cela suppose donc de réformer les procédures de la commande publique (voir les recommandations correspondantes).

Enfin, concernant le financement, il faut accepter de financer plusieurs équipes pour un même projet dans un délai court, ce qui induit un surcoût initial au profit d'une plus grande capacité d'innovation et d'une qualité plus importante du résultat à terme.

Il faut cependant prendre en compte dès l'amont un certain nombre de problématiques transverses (notamment sécurité et éthique), qui ne pourront être intégrées *a posteriori*. C'est un enseignement issu du monde de la cyber-sécurité : il n'est pas possible d'intégrer la dimension sécurité après coup sans détruire une grande partie de ce qui a été construit. Il y a donc ici un enjeu

important à sensibiliser les chefs de projet et architectes pour s'assurer de la bonne prise en compte dès le début des projets en matière d'IA.

Déterminer et afficher de grands enjeux sectoriels

C'est là un changement fondamental de notre politique industrielle qu'il nous faut insuffler : la structuration du soutien à l'innovation autour de grands enjeux sectoriels, des objectifs ambitieux de stratégie industrielle à long terme, qui dépassent le sujet de l'IA mais contribuent à donner un terrain favorable à son développement. Ces enjeux pourraient être divers et propres à chaque secteur : détection précoce des pathologies, médecine des 4P[20], disparition des déserts médicaux, mobilité urbaine à zéro émission…

20. Médecine personnalisée, préventive, prédictive, participative

L'intérêt de cette démarche est triple. Premièrement, ce dispositif laisse aux écosystèmes existants la liberté de se structurer pour proposer des solutions. L'IA seule ne permettant pas de répondre à ces objectifs, elle devrait y contribuer fortement tout en permettant de catalyser son développement. Deuxième vertu de ces enjeux larges : ne pas fermer la porte à l'innovation de rupture, qu'elle soit technologique, d'usage ou de modèle d'affaires. Fixer des objectifs trop précis reviendrait en effet à prendre un parti pris technologique qui pourrait devenir obsolète sur le court terme, alors que les grands enjeux ont vocation à afficher une direction valable dans le temps. Il s'agit enfin de donner une direction claire à la politique industrielle, permettant une structuration large des écosystèmes autour d'un projet mobilisateur.

Quelle organisation sectorielle ?

Pour chaque secteur, ces grands enjeux pourraient être déterminés par des comités sectoriels chargés d'en faire la publicité et d'animer leurs écosystèmes. La constitution de ces comités reste à définir. Ils pourraient néanmoins, dans certains cas, reposer sur des structures existantes mais devront impliquer des représentants des administrations, des métiers concernés, des industriels (startups, PME, ETI et grands groupes) et du milieu de la recherche publique. Cette diversité a pour but de s'assurer que les objectifs sont à la fois suffisamment ambitieux, d'intérêt opérationnel et porteurs, tant d'un point de vue technologique, social qu'industriel.

Quel financement ?

Ces enjeux ont vocation à être intégrés dans les dispositifs de soutien à l'innovation classiques, opérés par BPI France[21]. Ils pourraient être complétés par des dispositifs spécifiques :

21. On peut citer les financements de projets de R&D collaboratives et les financements de R&D.

- subventions attribuées en flux pour apporter une aide au développement de produits à fort contenu innovant. Le caractère en flux permet d'examiner les projets tout au long de l'année et d'attribuer les aides au fil de l'eau. On pourra notamment s'inspirer du dispositif RAPID (Régime d'APpui à l'Innovation Duale) mis en œuvre par la Direction Générale de l'Armement afin que l'aide soit effective dans un délai de 3 mois à condition que le dossier soit retenu ;

22. Dans le cadre des programmes d'investissement d'avenir à raison de 35 M€ et 40 M€ par an respectivement dans le cadre du concours mondial de l'innovation et du concours d'innovation numérique.

- concours dont le modèle a déjà été mis en œuvre[22] et opéré par BPIFrance. Ceux-ci peuvent éventuellement comporter différentes phases pour lesquelles les aides deviennent de plus en plus importantes ;
- investissement en fonds propres à la suite d'un concours propre ou dans une dernière phase d'un concours comme indiqué au point précédent.

La logique de ces dispositifs reste cependant la même dans tous les cas : il s'agit de laisser émerger et d'accélérer des projets innovants en matière d'IA qui contribuent à la réalisation des grands enjeux sectoriels affichés et ne sont donc en aucun cas prescriptifs.

Il faut noter ici qu'une telle structuration n'est pas en mesure, et n'a pas vocation à supplanter les investissements privés. Il s'agit en revanche d'un excellent moyen de constituer une vitrine technologique avec une aide financière. En matière privée, il faut que l'Europe se mette à la hauteur de ses concurrents internationaux et que le *venture capital* se développe de plus en plus.

Organiser de grands défis articulés avec les enjeux sectoriels

Les grands enjeux de long-terme ne sauraient pour autant se suffire à eux-mêmes. Il faut penser en parallèle l'émulation de l'écosystème dans la durée, l'émergence et la mise en œuvre de solutions innovantes dans cet intervalle. En complément, il est donc nécessaire de mettre en œuvre des dispositifs pour développer des capacités opérationnelles à horizon plus rapproché (*ex.* : prévenir les maladies nosocomiales, détecter en temps réel les cyberattaques).

Le soutien à l'innovation sous forme de défis occupe aujourd'hui une place limitée dans l'approche publique du soutien à l'innovation alors que cette méthode a prouvé son efficacité, notamment aux États-Unis avec le modèle de la DARPA précité. Ceux-ci doivent afficher des objectifs clairs, quantitatifs et opérationnels et, malgré tout, suffisamment ambitieux pour stimuler la capacité d'innovation de l'écosystème avec, à la clé, des récompenses financières importantes. Il est donc proposé d'organiser dans chaque secteur des défis d'innovation, visant à financer le développement de capacités opérationnelles technologiquement ambitieuses sur le court-terme et qui concourront à progresser sur les grands enjeux sectoriels.

S'inspirer de : DARPA Grand Challenge

Cette compétition a été organisée par la DARPA en 2004, 2005 (et 2007 dans un contexte urbain) et avait pour objectif de développer des véhicules terrestres complètement autonomes capables de :

- parcourir le circuit indiqué en moins de 10 heures ;
- utiliser le système de positionnement GPS et éventuellement d'autres signaux civils disponibles ;
- fonctionner de manière complètement autonome sans recevoir aucune commande lors de son parcours ;
- ne percuter aucun un autre véhicule de façon intentionnelle au cours de la compétition.

À l'issue de ce concours, les 3 premières équipes recevaient des prix respectifs de 2 M$, 1 M$ et 500 000 $.

Les modalités de mise en œuvre de ces défis pourraient prendre des formes différentes en fonction des objectifs, selon la perspective ou non d'achat public. Il est impératif que ces défis impliquent l'ensemble des acteurs, des chercheurs aux industriels pour lesquels c'est d'ailleurs une occasion de créer des liens et des projets communs, facilitant ainsi les transferts de technologie.

Sans perspective d'achat public, il est possible de se limiter à une perspective de R&D ou d'expérimentation auquel cas les récompenses financières pourraient être du type subventions ou marché public dans le cadre de l'exception de R&D. Dans ce cas, les résultats ne seront pas directement réutilisables par la puissance publique.

Avec perspective d'achat public, dans le cas où les résultats ont vocation à être réutilisés par la puissance publique de façon opérationnelle, le défi doit être directement conçu et intégré dans un marché public capable de supporter une phase ultérieure d'opérationnalisation. Le défi serait alors une première phase d'évaluation et de sélection du marché à la suite de laquelle la puissance publique pourrait décider d'en faire l'achat final. Ceci constituerait en soi une motivation et une récompense supplémentaires pour les gagnants du défi avec une perspective directe d'achat à l'issue. Cette modalité permettrait également de répondre à la problématique de parvenir à transférer l'innovation directement dans les milieux opérationnels, ce qui n'est pas permis par les autres modalités sans remise en concurrence.

Dans tous les cas, la mise en œuvre de ces défis nécessitera une implication importante de la part des administrations et de leurs opérateurs dès les phases amont, que ce soit pour l'exécution, l'accompagnement et l'achat dans le cas où une perspective d'achat serait intégrée aux concours. L'organisation de ces défis trouvera également à s'appuyer sur les structures d'innovation lorsqu'elles existent.

Expérimenter des plateformes sectorielles

Une plateforme est un service qui occupe une fonction d'intermédiaire dans l'accès aux informations, aux contenus, aux services ou biens édités ou fournis par des tiers. C'est un modèle de développement à l'efficacité redoutable, qui fait la force des géants chinois ou américains. Il ne faut donc pas voir derrière ce terme une implémentation physique ou technique mais avant tout une logique fonctionnelle : une plateforme permet à des écosystèmes de se structurer autour des fonctionnalités qu'elle met à leur disposition. Elle doit permettre la conception et le déploiement de produits ou services en lien avec tous ses utilisateurs, publics et privés, dans une logique de création et de répartition de la valeur. Il est ainsi envisageable que demain, les utilisateurs (citoyens, opérationnels des métiers du secteur, industriels…) aient accès à un spectre complet d'applications, du service public jusqu'à des applications privées voire des expérimentations pour la recherche publique. C'est la stratégie que les grandes plateformes ont mise en œuvre. Pour prendre l'exemple des assistants personnels (Google Home, Amazon Alexa…), ceux-ci

mettent à disposition des ressources sur leur *cloud*, le périphérique installé dans le foyer et l'infrastructure qui permet de faire fonctionner l'ensemble. Avec des kits de développement disponibles publiquement, des entreprises tierces sont alors en mesure d'expérimenter puis de déployer de nouvelles fonctionnalités sur un marché constitué.

Il y a urgence à adopter ces logiques pour réinventer la collaboration public-privé. Le risque ? Que d'autres s'en chargent. On le constate chaque jour : l'écosystème numérique est marqué par une logique très forte de *winner takes all* et les positions dominantes semblent de plus en plus difficiles à contester. Les domaines concernés par l'IA ne font pas exception. C'est pourquoi il revient à la puissance publique d'initier cette logique de plateformisation dans ces différents secteurs, ne serait-ce que pour éviter une aspiration de la valeur par un acteur privé en position de prééminence.

De telles plateformes sectorielles devront permettre aux acteurs de ces écosystèmes – industrie, puissance publique, recherche académique, tissu citoyen et associatif – de développer et mettre sur le marché de nouvelles fonctionnalités adaptées aux secteurs en question. En particulier, elles devraient :

- rassembler les données pertinentes pour le secteur et organiser leur captation (objets connectés et capteurs spécifiques) et leur collecte (données existantes) ;
- mettre en place des accès différenciés et sécurisés à des interfaces applicatives de programmation[23] aux acteurs de l'écosystème (chercheurs, entreprises et puissance publique) ou dans certains cas directement à des données ;
- donner accès à des infrastructures de calcul d'ampleur significative comprenant les moyens matériels et logiciels adaptés à l'IA ainsi que les données du secteur ;
- faciliter l'innovation en disposant d'une capacité à expérimenter dans un cadre maîtrisé notamment s'il propose des règles dérogatoires au droit commun ;
- permettre de réaliser dans la continuité et sur un même support le développement, l'expérimentation et le déploiement de produits opérationnels et commerciaux ;
- créer des logiques d'écosystème et de plateforme permettant aux acteurs de passer directement à l'échelle sur des marchés *a minima* nationaux en leur permettant de déployer leurs applicatifs dans un continuum de services entre le public et le privé.

23. en anglais Application Programming Interface (API)

Certaines conditions doivent être respectées pour garantir le succès d'une telle démarche. La première condition tient à la mise en place d'une logique d'accès différenciés, afin de maîtriser et de sécuriser l'utilisation des applications et données (parfois sensibles) qui y sont hébergées. Cette exigence doit permettre d'articuler un principe de proportionnalité entre la finalité recherchée par la personne qui souhaite accéder à ces ressources et les moyens nécessaires pour l'atteindre.

La seconde condition est celle de l'ouverture et de la transparence. Aussi bien pour des questions de souveraineté technologique et économique que

des questions d'efficacité et de performance, il est impératif de privilégier autant que possible l'utilisation de technologies ouvertes (« *open source* » et « *open hardware* »), pour ne pas être victime de logiques d'enfermement. La publicité de cette plateforme, des données et des ressources qu'elle contient est un facteur majeur d'adhésion et de mobilisation de l'écosystème considéré.

La dernière condition est celle de la prise en compte des contraintes sectorielles dans le développement des plateformes, comme par exemple la gestion du consentement dans le cadre de la gestion des données à caractère personnel. Au-delà des questions de conformité, cela doit permettre aux différents acteurs de disposer à terme d'une boîte à outils pré approuvée, et ainsi de les dispenser de développements complémentaires qu'ils auraient dû consentir dans le cas contraire.

Mettre en place des bacs à sable d'innovation

Il est essentiel de fluidifier les parcours d'innovation en IA, particulièrement dans les secteurs prioritaires. Une plainte qui revient régulièrement dans chacun de ces domaines : la lourdeur de la réglementation ainsi que les délais d'instruction des dossiers pour mettre en œuvre ces expérimentations, ceux deux points n'étant pas sans rapport.

C'est pourquoi notre mission recommande de mettre en place des bacs à sable d'innovation, qui s'entendent d'un triple aspect : un allègement, temporaire, de certaines contraintes réglementaires pour laisser le champ libre à l'innovation, un accompagnement des acteurs dans la prise en compte de leurs obligations et – dernier point mais non des moindres – des moyens d'expérimentation en situation réelle. La loi pour une République numérique a fait un premier pas vers cette logique, notamment par les possibilités ouvertes pour l'expérimentation dans les télécoms[24].

24. L'ARCEP met en œuvre cette logique et n'en est encore qu'à ses débuts.

S'agissant des obligations réglementaires, chaque secteur a des problématiques qui lui sont propres. Il en est ainsi, par exemple, de l'essai de drones dans l'espace aérien, strictement réglementé par l'aviation civile. Du côté technique, l'expérimentation de nouvelles applications peut être soumise à des contraintes opérationnelles diverses : utilisation de techniques de cryptographie, cloisonnement de bases de données, contraintes d'interconnexion et d'interopérabilité, durcissement de dispositifs de collecte…

Pour accélérer le développement de l'IA dans les secteurs prioritaires, il est nécessaire d'offrir aux acteurs des terrains d'expérimentation en « conditions réelles »

Pour accélérer le développement de l'IA dans les secteurs prioritaires, il est nécessaire d'offrir aux acteurs des terrains d'expérimentation en « conditions réelles ». Cela constitue un facteur d'attractivité majeur pour l'écosystème de l'innovation et est surtout un avantage singulier que seule la puissance publique est en mesure d'offrir. C'est également une opportunité pour celle-ci d'expérimenter en conditions réelles de nouveaux cadres réglementaires et techniques mieux adaptés aux problématiques de l'IA.

Ces bacs à sable doivent ainsi faciliter les démarches d'expérimentation dans une logique de bout en bout : de la conception itérative jusqu'au déploiement des technologies d'IA en lien avec ses futurs utilisateurs.

Pour garantir la rapidité et la simplicité nécessaires à une telle démarche, la participation à ces bacs à sable devrait se faire sur demande des acteurs de l'innovation avec l'instruction d'un dossier unique sous une procédure de « silence vaut acceptation » sous 3 mois. Ceci permettrait de consacrer le rôle fort des autorités de régulations, telles que la CNIL tout en rendant les délais et les conditions compatibles de l'innovation.

Mettre en œuvre une politique de la donnée adaptée à chaque secteur

L'accès à la donnée, dans les domaines prioritaires, revêt une importance stratégique. Elle doit être pensée de concert avec la politique industrielle et les enjeux sectoriels détaillés plus haut. Il faut brasser au plus large pour espérer créer un effet « boule de neige » et augmenter le champ des possibles pour les porteurs d'innovation. Penser la politique de la donnée, ce n'est pas seulement penser les moyens d'accès ou de récupération des données existantes, c'est également penser à la mise en place de nouveaux moyens de collecte de données de qualité. Pour ces nouveaux moyens, l'expertise technologique est à conserver et à développer en Europe et est indissociable de l'expertise en IA.

Gouvernance de la donnée

La gouvernance des plateformes et de la donnée est régulièrement sous-estimée : au niveau de la collecte (ce qui doit être collecté et comment) mais aussi pour la gestion des données dans le temps (structuration, stockage, cycles de vie, gestion de besoins etc.), ce qui suppose d'installer une chaîne de décision. Cette problématique est critique, il faut donc que soient mis en place des chaînes décisionnelles spécifiques et identifiées.

Néanmoins comme détaillé plus haut, l'accès à la donnée brute n'est parfois pas suffisant. Ces dernières doivent être annotées pour permettre une utilisation optimale par l'IA. Cela peut supposer des investissements et des développements importants, qui pourraient néanmoins être rentabilisés par la valeur créée par des applications en IA qui n'auraient pas pu voir le jour autrement. La mise en place de ces moyens de collecte doit être considérée comme une priorité financière et opérationnelle pour le développement de l'IA, et cela sans préjuger des applications qui pourront être développées.

Pour ce qui concerne l'annotation, on pourra s'inspirer d'approches similaires à celles mises en œuvre pour les « *captchas* » (*voir encadré*) : soit en insérant dans des systèmes opérationnels des mécanismes de collecte de données annotées, soit en ajoutant des moyens de mesure dans des outils déjà utilisés (par exemple des outils de suivi d'activité).

Collecte d'annotation par « *captcha* »

Le principe consiste à demander à l'internaute, pour valider un formulaire, de réaliser une lecture d'image, de texte ou de son afin de le différencier d'un

robot. Une partie de ces données sert effectivement à faire cette distinction, mais une autre partie n'est pas étiquetée et c'est une façon subtile d'obtenir des données annotées à peu de frais, à la fois pour l'opérateur du système et de façon transparente pour son utilisateur.

Il y a là également une opportunité pour développer des logiciels ayant vocation à outiller le travail de structuration des données. Il s'agit de faciliter la collaboration entre l'humain et la machine pour produire des données utilisables par des techniques d'IA et rendre moins pénible ce travail de préparation de la donnée. Par exemple dans le domaine de l'information médicale, il s'agirait, à partir des textes libres produits par les médecins de pré-structurer les données pour minimiser l'action du spécialiste de l'information médicale.

Œuvrer, dans un premier temps, au sein d'un axe franco-allemand

Initier une dynamique industrielle européenne de l'IA

L'Europe a largement les moyens de devenir un acteur de premier plan dans la course mondiale à l'IA : il s'agit du premier marché en volume et elle dispose d'avantages majeurs sur les plans académique et industriel. Pour amorcer la construction d'une politique industrielle européenne de l'IA, notre mission recommande d'œuvrer, dans un premier temps, au sein d'un axe franco-allemand. L'Italie (notamment du Nord) doit également être envisagée comme un partenaire sérieux, notamment pour son avance en matière de robotique. De même, malgré sa position particulière vis-à-vis de l'Union Européenne, la Suisse a de nombreuses compétences académiques et industrielles à faire valoir.

S'agissant des secteurs prioritaires, tous ne se prêtent pas à des développements directs au niveau européen. En matière de santé, de défense ou d'énergie, les disparités législatives et réglementaires entre États membres plaident en faveur d'une démarche en deux temps : une consolidation de nos écosystèmes nationaux d'abord, un déploiement au niveau européen ensuite. Le lancement d'une mission spécifique visant à étudier les possibilités d'une politique européenne de l'IA sur ces secteurs et à cartographier les différents freins à l'harmonisation serait à ce titre bienvenu.

Développer la robotique européenne

La robotique et l'IA sont deux domaines liés dans l'imaginaire collectif alors qu'en pratique, la convergence n'a pas encore eu lieu. De nombreuses applications en robotique ne relèvent pas de l'IA et réciproquement. Il y a pourtant un véritable champ d'exploration ouvert sur lequel l'Europe est en mesure d'occuper un rôle majeur, qu'il s'agisse de la robotique industrielle ou de la robotique agricole par exemple. Ceci est d'autant plus vrai que la domination américaine n'est pas encore établie en la matière, malgré des résultats particulièrement médiatisés, comme ceux de l'entreprise Boston Dynamics.

Sur ce sujet le développement pourrait se faire sur un axe franco-allemand complété d'un partenariat avec l'Italie qui dispose de forces vives, en particulier en Italie du nord. Un projet de *flagship* européen a d'ailleurs été déposé[25] et ce triptyque franco-allemand-italien y est particulièrement représenté.

25. http://www.roboticsflagship.eu/

Faire du développement de l'IA pour le transport une priorité de la future agence d'innovation de rupture

Le projet d'une agence d'innovation de rupture a été annoncé par le Président de la République, citant le modèle de la DARPA. C'est un bon signal : il est essentiel de favoriser le développement de projets de grande envergure avec un pilotage dédié et des fonds importants. Ce serait également une manière de mobiliser un imaginaire européen autour de grandes ambitions – qui ont fait souvent les succès de la construction européenne – tout en utilisant des méthodes de soutien à l'innovation qui ont fait leurs preuves dans d'autres pays.

Le soutien au développement de l'intelligence artificielle doit évidemment être l'une des priorités de cette agence, en gardant à l'esprit que l'innovation de rupture doit être pensée au plus près des métiers, de ceux qui opèrent au quotidien dans les secteurs, maîtrisent les données et les enjeux opérationnels.

S'il est un secteur qui aurait particulièrement vocation à s'intégrer dans un tel dispositif européen, c'est le secteur du transport et des mobilités. Il s'agit d'une force historique de l'Europe qui réunit les conditions précitées, combinée à un marché d'ampleur, notamment du fait de l'importance des constructeurs et équipementiers franco-allemands dans le domaine de l'automobile. Les autres secteurs prioritaires (santé, défense, environnement) se prêtent moins à être traités directement à un niveau européen, mais il sera utile d'associer l'Allemagne à la démarche pour identifier à terme les possibilités de convergence.

Innover dans l'industrie du composant adapté à l'IA

Le postulat premier est celui-ci : tout développement en matière d'IA et de numérique repose sur l'existence de composants avancés de différents types (CPU, GPU et autres variantes pour les processeurs ; mémoires embarquées). Ce sont ces composants et la puissance qu'ils apportent qui ont rendu possibles les dernières avancées en matière d'IA. Le domaine du composant informatique est une industrie de très haute technologie et d'importance stratégique pour l'Europe. Il nous faut répondre à trois exigences : développer et maintenir dans la durée des activités de recherche et de développement, conserver des compétences clés ainsi que des moyens de production. On constate néanmoins qu'en Europe, très peu d'acteurs industriels sont en mesure de répondre à ces exigences, en particulier s'agissant des capacités de production. Les conséquences d'une disparition de cette industrie européenne seraient très lourdes : en plus d'une dépendance dramatique à des acteurs du *hardware* extraeuropéens, elle découlerait sur une incapacité de l'Europe à comprendre, concevoir et produire des systèmes électroniques.

L'émergence des GPU

L'une des raisons de l'essor récent du deep learning a été la démocratisation de l'usage des GPU (*Graphical processing unit*). Leur capacité à réaliser des opérations mathématiques (essentiellement des multiplications de matrices)

de façon massivement parallèle ainsi que l'accessibilité de leur programmation à cette fin a été déterminante. Quand un CPU contient une dizaine de processeurs indépendants, un GPU en contient des milliers, accélérant ainsi de façon drastique la vitesse des calculs effectués et donc la vitesse d'apprentissage et de traitement des données par des algorithmes d'apprentissage automatique et notamment d'apprentissage profond.

Des technologies ont émergé ces dernières années autour de l'utilisation de ces processeurs de façon industrielle. *Tensorflow, PyTorch, Theano* par exemple on permis de donner accès, pour un public large et non expert en programmation de GPU, à des moyens de créer, entraîner et déployer de nouveaux modèles dans des boucles extrêmement courtes.

Si les groupes européens parviennent à maintenir une position de force dans certains secteurs tels que les senseurs, en matière de numérique le constat est alarmant : ils ont abandonné le terrain des semi-conducteurs numériques avancés. En conséquence, ils se focalisent sur les objets et les périphériques, délaissant le cœur des systèmes numériques avancés. De nombreuses initiatives européennes existent pour soutenir l'industrie et sont nécessaires pour le maintien des compétences, mais le constant reste cinglant : l'Europe n'est aujourd'hui ni souveraine, ni autonome sur l'intégralité de la chaîne de production des composants. C'est en particulier le cas sur ceux qui apparaissent les plus importants en premier lieu : les processeurs avancés et la mémoire. Si on inclut la fabrication comme un élément clé d'indépendance, l'Europe ne dispose ni des technologies ni des moyens de production suffisamment avancés (en termes de finesse de gravure par exemple) pour concurrencer l'Asie. Il en est de même en matière de production de mémoire. Les enjeux de souveraineté et l'existence de réglementations extraterritoriales (telles qu'ITAR) imposent à l'Europe de se poser une question difficile : où devons-nous placer le curseur de l'autonomie dans une industrie où le retard semble difficilement rattrapable ?

Un espoir est encore permis : ces dernières années ont marqué la fin de la loi de Moore, qui guidait jusqu'à présent la recherche et le développement de l'industrie des composants. Cet état de fait impose à l'ensemble de l'écosystème de se réinventer et d'innover hors des sentiers historiques. Cette opportunité pourrait être saisie dans le contexte de l'IA pour produire de nouvelles approches non pas dans une course à la technologie au sens où elle était habituellement entendue, mais plutôt pour produire de nouvelles architectures innovantes, économes en énergie.

Parmi les pistes évoquées, on pourra notamment retenir le calcul en mémoire[26] et les approches neuromorphiques (*voir encadré*). En effet, les performances d'un système tiennent certes à la qualité de ses composants, mais ceci dans une proportion relativement faible en comparaison avec l'architecture du système dans son ensemble (processeurs, mémoire et flux de données dans la machine).

26. http://www.roboticsflagship.eu/

Qu'est-ce que la technologie neuromorphique ?

Cette technologie s'inspire de l'organisation interne du cerveau, capable de tâches cognitives impressionnantes avec moins de consommation qu'une

ampoule électrique. On parle de puces « neuromorphiques ». Les systèmes neuromorphiques économisent de l'énergie par rapport aux processeurs et aux cartes graphiques en exploitant deux stratégies. D'une part, ils rapprochent autant que possible calcul et mémoire, limitant les échanges de données qui sont aujourd'hui la principale source de consommation d'énergie dans les processeurs. D'autre part, ils effectuent les calculs de manière moins précise que les processeurs, mais plus efficace en énergie, soit en utilisant des circuits numériques à faible précision (faible nombre de bits), soit en utilisant les non-linéarités intrinsèques de composants électroniques qui sont un composant essentiel des approches modernes telles que les réseaux de neurones. Cependant, il convient de préciser que ces technologies neuromorphiques ne répondent pas nécessairement à l'ensemble des problématiques de l'apprentissage. Quelques articles tentent de quantifier les gains d'énergie obtenus *via* ces technologies, ainsi la puce neuromorphique TrueNorth de IBM consomme 20 mW/cm^2 au lieu de 100 W/cm^2 pour les ordinateurs classiques, pour l'exécution de réseaux neuronaux. L'apprentissage est cependant fait hors ligne. L'apprentissage en ligne *via* ces technologies constitue encore un défi non résolu pour nos chercheurs, et pourrait faire ainsi l'objet d'un défi d'innovation.

Source : Contribution du Centre de nanoscience et de technologie pour la mission.

Au-delà du soutien général à l'industrie du semi-conducteur, il pourrait être nécessaire de lancer un défi d'innovation, par exemple pour la construction d'un supercalculateur ou de moyens de calcul embarqués adaptés à l'IA ne faisant appel qu'à des technologies européennes. L'objectif d'un tel défi consisterait à penser de nouvelles architectures pour tirer parti d'innovations technologiques européennes, par exemple dans le domaine du calcul en mémoire ou du neuromorphique. Un tel défi trouverait utilement à s'inscrire dans le développement du secteur du transport à l'échelle européenne, en particulier en cas de création d'une agence européenne pour l'innovation de rupture.

S'inspirer de : Sunway TaihuLight

La Chine a réussi à produire le premier supercalculateur du Top500 et du top 5 du Green500 à partir de composants uniquement chinois et produits en Chine alors qu'elle ne disposait pas des technologies de production les plus avancées à l'échelle mondiale. Elle s'est donc appuyée sur les générations technologiques précédentes qu'elle a réussi à mettre en œuvre dans une architecture innovante.

Accélérer la mise en place d'infrastructures européennes en IA

Pour ce qui concerne les infrastructures nécessaires au développement de l'IA, elles sont de plusieurs ordres et couvrent les différentes phases, de la recherche au développement jusqu'à la vie des produits. Dans certains domaines de l'IA, comme l'apprentissage automatique, le cycle de vie comporte deux phases principales : la phase d'apprentissage et la phase d'inférence. La vitesse et la performance de la phase d'apprentissage sont conditionnées par l'ampleur des moyens matériels alloués, notamment en matière de processeurs dédiés (par exemple des GPU). Ainsi, la dimension des infrastructures conditionne la

productivité et l'efficacité de la recherche et du développement. La seconde phase est celle de l'inférence, beaucoup plus légère en besoin de ressources matérielles, et peut même être faite à l'intérieur de périphériques embarqués (une IA dans un smartphone).

Apprentissage et inférence

Les techniques d'IA ayant recours à de l'apprentissage fonctionne de la façon suivante : d'abord une phase d'apprentissage au cours de laquelle un algorithme cherche l'ensemble des paramètres qui permet au modèle d'effectuer la tâche demandée avec le meilleur niveau de performance possible. Une fois cette phase passée, les paramètres du modèle sont donc fixés et on entre alors dans une phase d'inférence où il s'agit d'effectuer la tâche pour laquelle le modèle a été entraîné dans la phase d'apprentissage.

Au sein de la phase d'apprentissage, il nous faut distinguer plusieurs types de flux de travail. Les cas qui mobiliseraient intégralement un supercalculateur adapté à l'IA (ressources se comptant en milliers de GPU typiquement) sont assez rares et ne concernent qu'un domaine limité de la recherche. La grande majorité des applications nécessite une quantité de ressources beaucoup plus restreintes (ressources se comptant en dizaine de GPU par exemple), un besoin auquel pourrait répondre un « *cloud* pour l'IA ».

La mise en place d'une telle infrastructure représente un investissement très coûteux, et relève d'un métier spécifique : celui de l'infrastructure, des centres de données et du cloud. Il est donc question de mutualiser ces moyens autant que possible, au moins pour la puissance publique en lien avec le développement des secteurs clés.

Pourquoi le *cloud* ?

Le *cloud* consiste à avoir accès, éventuellement, par réseaux interposés à des ressources de calcul (réseaux, serveurs, stockage, applications et services) éventuellement distantes, de façon transparente et avec intervention minimale du fournisseur de services.

Contrairement à une réaction instinctive, s'en remettre à un fournisseur de *cloud* ne revient pas à renier sur le niveau de sécurité. Au contraire, faire le choix du *cloud* c'est s'en remettre à un fournisseur spécialisé qui sera par nature plus compétent que l'écrasante majorité des organisations, notamment en matière de sécurité. Du fait du volume, la qualité du service fourni est d'autant plus accrue, et permet d'éviter l'écueil classiquement rencontré : monter des infrastructures de calcul propres et de faible envergure est un facteur d'inefficience financière, écologique, et fonctionnelle. Dans le cas de la puissance publique, de l'échelon central jusqu'aux collectivités territoriales, il est souhaitable que celle-ci s'en remette autant que possible à des fournisseurs dont c'est le cœur de métier.

Le déploiement de ces infrastructures doit s'appuyer sur des acteurs européens dont c'est le cœur de métier, dans un contexte où les géants de la discipline sont essentiellement américains et chinois. Il faudrait étudier la possibilité de mise en œuvre au travers d'un partenariat public-privé visant à aider un acteur européen à émerger spécifiquement sur le sujet de l'IA. Ces acteurs

sont rapidement dénombrés : les experts indiquent qu'aujourd'hui seule l'entreprise OVH semble avoir la capacité de donner la réplique sur un marché international.

Dans cette mesure, le concept de « *datacenter-as-a-service* », proposé par certains acteurs économiques, permettrait à la fois d'avoir des infrastructures gérées par un spécialiste du domaine, et de le faire monter en compétence sur le sujet de l'IA. Ceci permettrait à la recherche publique de combiner les avantages de la souplesse liés à un *cloud* privé à celle de la qualité de service.

Transformation de l'État, État exemplaire

De même que les entreprises, l'État doit également se transformer afin d'être en mesure d'intégrer l'IA à la conduite des politiques publiques. Cette transformation est nécessaire à la fois dans une perspective de modernisation et d'augmentation de l'efficacité de l'action publique, ainsi que dans un souci d'exemplarité : l'État doit donc se positionner, pour ses propres besoins, comme premier utilisateur et acheteur de technologies d'IA.

Installer un coordinateur interministériel pour la mise en œuvre de la stratégie

Compte tenu de l'ampleur des transformations annoncées, il est nécessaire d'assurer une coordination et un pilotage dans le temps : la nomination d'un haut délégué à l'IA pourrait à ce titre constituer une réponse pertinente, de la même façon que les Britanniques ont instauré un Bureau pour l'IA (*Office for AI* – OAI) aux fins de mettre en œuvre leur récente stratégie[27] (*voir encadré*).

27. Document disponible à l'adresse suivante : https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/664563/industrial-strategy-white-paper-web-ready-version.pdf

Placée sous l'autorité du ministre chargé du Numérique (lui-même rattaché au Premier ministre), cette personnalité aurait pour rôle de coordonner l'action gouvernementale, notamment pour ce qui concerne la transformation interne des ministères, et de constituer l'interface entre les secteurs public et privé. Pour cette mission, il pourrait s'appuyer sur les administrations dont son ministre a la charge.

Dans une logique profondément interministérielle, il lui reviendrait d'animer au jour le jour un réseau de référents au sein des différents ministères et administrations afin d'accélérer la mise en œuvre de ces transformations. Ce coordinateur pourrait s'appuyer sur l'expertise technique de la direction interministérielle du numérique et du système d'information et de communication de l'État (DINSIC) pour accompagner les administrations dans leur appréhension de l'IA.

L'État doit également se transformer afin d'être en mesure d'intégrer l'IA à la conduite des politiques publiques

S'inspirer de : l'*Office for AI* britannique

Suite à la publication de sa stratégie en novembre dernier, le gouvernement britannique a annoncé la création d'un Bureau pour l'intelligence artificielle (*Office for AI.* – OAI). Son rôle : amorcer la transformation des politiques

publiques avec l'intelligence artificielle, favoriser l'appropriation de ces outils par le secteur privé et nouer des liens forts avec le monde économique et académique. Conjointement rattaché aux ministres chargés du Numérique et de l'Industrie l'OAI, et son directeur, sont chargés de piloter la mise en œuvre opérationnelle de la stratégie de transformation du Royaume-Uni.

Créer un pôle de compétences mutualisées en IA dans l'État

Toutes les administrations n'ont pas le même niveau de maturité sur la réflexion de l'usage de l'IA dans leurs métiers et leur mise en œuvre. Une difficulté majeure réside dans la capacité à disposer des bonnes compétences, qui soient en mesure de suivre le rythme de l'innovation, d'identifier leur applicabilité et éventuellement de les transformer en une première preuve de concept. Dans ce contexte, la puissance publique doit disposer d'une structure en mesure de recruter les profils adaptés aux transformations de l'IA et qui puisse assumer ce rôle de conseil et de lab pour la conception des politiques publiques. Il s'agit d'un dispositif transitoire : à terme, ces compétences devront exister de manière pérenne dans les différentes administrations, qui devront recruter des spécialistes de l'IA issus de leurs secteurs.

La DINSIC paraît tout indiquée pour jouer ce rôle. Direction placée sous l'autorité du Premier ministre, elle est aujourd'hui chargée de coordonner les actions des administrations en matière de systèmes d'information.

Créer au sein de la DINSIC un pôle de compétences mutualisées en IA

La DINSIC pourrait accueillir en son sein un pôle mutualisé de compétences en IA et mettre en réseau les compétences constituées au sein des administrations et de leurs opérateurs. Constitué d'une trentaine d'agents, ses missions pourraient être les suivantes : conduire des missions de conseil auprès des administrations et assurer un travail de veille et de cartographie des innovations réussies dans l'État, réaliser des preuves de concept (*proof of concept*) et accompagner le passage à l'échelle en cas de succès. Ce pôle aurait enfin vocation à soutenir de façon générale l'acculturation de la puissance publique et pourrait infuser les méthodologies agiles de la gestion de projet.

La puissance publique doit disposer d'une structure en mesure de recruter les profils adaptés aux transformations de l'IA

Constituer la réserve de l'IA autour de la DINSIC

Ce pôle IA au sein de la DINSIC pourrait, sur le modèle des réserves de cyberdéfense, s'appuyer sur une communauté de citoyens volontaires et bénévoles (chercheurs, entrepreneurs, associatifs, activistes, etc.). L'objectif : s'ouvrir sur la société et les communautés expertes extérieures pour capitaliser sur des expertises qui n'existent pas nécessairement en interne.

Cette « réserve de l'IA » pourrait être mobilisée en jury ou panels, pour éclairer les avis de la DINSIC et les choix technologiques des administrations. Cette réserve citoyenne, dont certains membres seraient par exemple

spécialisés dans les problématiques de « police prédictive » (criminologues, *data scientists*…), pourrait être amenée à donner un avis sur des solutions technologiques envisagées, sur un mode pluridisciplinaire.

Renforcer la DINSIC et son droit d'alerte

La DINSIC joue aujourd'hui un rôle d'arbitrage, d'évaluation de la performance des services numériques. En particulier, son directeur est informé des principaux projets informatiques envisagés par les ministères – il s'agit des projets dont le budget prévisionnel est compris entre 5 millions et 9 millions d'euros. La direction dispose également d'un droit de veto sur les projets dont le coût dépasse 9 millions d'euros. Ses avis sont adressés au Premier ministre, aux ministres concernés et au ministre chargé du budget.

En outre, un pouvoir d'alerte (auprès du Premier ministre et des ministres concernés) est reconnu au directeur, s'agissant des projets « qui présentent des enjeux ou des risques justifiant des dispositions spécifiques de conduite et de gouvernance » et à la suite de missions d'expertise conduites « sur tout projet ou système d'importance majeure dont les conditions de développement ou d'exploitation lui paraissent porteuses de risques ou d'enjeux élevés en matière de calendrier, de coûts, de qualité ou de sécurité ».

Ce rôle doit être renforcé s'agissant du développement de l'IA au sein de l'État. Les seuils de notification et d'alerte pourraient être abaissés, pour conférer à la DINSIC un véritable droit de regard et un rôle d'accompagnement sur les projets d'importance.

Intégrer l'IA dans la stratégie numérique de l'État

Si IA et numérisation ne sont pas équivalentes, il ressort que la première ne saurait se concevoir sans la seconde : les deux doivent être considérés comme deux vagues successives. Ainsi, rattraper la première vague de la numérisation sans considération pour la seconde reviendrait à prendre d'emblée un retard conséquent.

Le volet IA doit être intégré dès à présent dans la stratégie de numérisation de l'État, en particulier dans le cadre du plan Action Publique 2022. Au risque, dans le cas contraire, d'avoir à opérer une nouvelle remise à plat avant de pouvoir conduire cette deuxième vague de transformation majeure. Il est essentiel de profiter de cette vague de numérisation pour saisir dès à présent les opportunités offertes par l'IA pour les services publics.

Cette prise en compte de l'IA a plusieurs implications : la conception des entrepôts de données qui doivent intégrer d'emblée la possibilité d'être utilisés à des fins ultérieures comme l'IA, inconnues au moment de la conception parfois au bénéfice d'un usage tiers à l'initial ; la politique de capitalisation des données : les données qui alimentent les entrepôts constituent une richesse et la question de leur collecte et de leur annotation doit être systématiquement posée et étudiée quand bien même la donnée n'aurait pas une utilité immédiate.

S'inspirer de : l'IA au Ministère de l'Économie et des Finances

L'IA présente des potentiels importants en matière d'assistance aux utilisateurs ou encore de lutte contre la fraude. Le ministre de l'Économie et des Finances a ainsi lancé des premiers projets dans ce sens :

i. Un « *chatbot* » a été développé par le Centre interministériel de services informatiques relatifs aux ressources humaines (CISIRH) permettant un accès aisé aux règles de gestion de ressources humaines de la fonction publique au bénéfice des gestionnaires du ministère de la culture et du ministère des affaires sociales.

ii. Un « *chatbot* » a été mis en place par l'Agence pour l'Informatique Financière de l'État (AIFE) pour les utilisateurs du système d'information Chorus, principalement constitués de PME et TPE.

iii. Un algorithme de « deep mining supervisé » est utilisé par la douane française pour détecter des cas de fraude dans les déclarations de valeur et d'analyse de langage naturel pour détecter des duplications d'identités ou d'adresses sur des trafics à l'import.

iv. Des modules d'intelligence artificielle ont été développés au sein du programme SIRANO de lutte contre les trafics financiers à TRACFIN, la cellule de lutte contre le blanchiment de capitaux et le financement du terrorisme.

Mettre en place des budgets dédiés et pluriannuels pour les applications prometteuses

Le fonctionnement classique des administrations ne se prête pas toujours aux expérimentations et à l'émergence d'applications prometteuses : dans un contexte budgétaire tendu où il est question de choisir ce que l'on ne fait pas plutôt que ce que l'on fait, il semble nécessaire de sanctuariser des ressources afin d'éviter cette problématique du choix qui fait nécessairement primer l'urgence.

Cela pourrait passer par la mise en place de budgets dédiés et pluriannuels utilisables en flux intégrant les perspectives d'économies pour inciter à examiner les applications prometteuses, étudier les impacts et lancer des projets pilotes. Il s'agit de donner de la souplesse pour se saisir des transformations liées à l'IA dans un rythme et un mode de fonctionnement adaptés.

Le caractère dédié permet de s'extraire des besoins de court terme ; la dimension pluriannuelle et en flux permet de faire face au caractère évolutif et réactif de l'IA, qui contraste avec les logiques de planification annuelle dans la mesure où les opportunités se présentent en continu, les projets aboutissent, échouent, passent à l'échelle. Enfin, intégrer les perspectives d'économie permet d'intégrer une dimension incitative comme coût négatif, de sorte à ne pas favoriser l'économie d'un euro l'année suivante contre l'économie de dix voire cent fois plus sur les années suivantes. Le vecteur des lois de programmation pluriannuelles pourrait être étudié.

Développer l'ouverture, la fiabilité et la sécurité des technologies d'IA

Métrologie

La puissance publique doit agir pour développer et déployer des standards, tests et méthodes de mesure pour faire de l'IA une technologie plus sécurisée, fiable, utilisable, interopérable. Contrairement aux systèmes experts dont la fiabilité et la sécurité peuvent être élaborées et prouvées par construction (en tout cas en théorie), les systèmes qui mettent en œuvre de l'IA prennent des décisions basées sur des modèles construits à partir des données. Ainsi, des protocoles doivent être développés et intégrer de nouvelles métriques pour être appliqués aux données, aux performances, à l'interopérabilité, à l'utilisabilité, à la sécurité et à la confidentialité.

À cette fin, les responsabilités du Laboratoire National de Métrologie et d'évaluation (dit LNE) pourraient être élargies dans la continuité de ses missions historiques afin de devenir l'autorité compétente en matière d'évaluation (au sens de la métrologie) dans le domaine de l'IA et de construire les méthodes d'essais nécessaires à cette fin.

Sécurité

Si l'IA permet de faire émerger de nouvelles opportunités, elle fait également apparaître de nouvelles menaces. Ce sujet d'étude a fait l'objet de récentes publications qui ont montré qu'il était possible de fausser arbitrairement les résultats produits par certains modèles appris par des réseaux de neurones, ce qui pose un problème de sécurité majeur dans le cas d'applications critiques. L'exemple du véhicule autonome est significatif à ce titre : l'existence de moyens pour fausser sa perception de l'environnement (causer délibérément la mauvaise interprétation d'un panneau Stop par exemple) pourrait provoquer de graves incidents. Le sujet de la sécurité est donc d'importance majeure, en particulier dans le cas des systèmes critiques et des systèmes ayant une composante physique capable de causer des dégâts en cas d'attaque.

Si l'IA permet de faire émerger de nouvelles opportunités, elle fait également apparaître de nouvelles menaces

Parmi les problématiques soulevées, on évoquera notamment les possibilités de :

- fausser arbitrairement les résultats d'un algorithme en manipulant les données d'entrée ;
- manipuler les données injectées au cours de l'apprentissage effectué par un algorithme d'IA ;
- créer de nouvelles attaques se basant sur les faiblesses des techniques d'IA actuelles.

La sécurité est un sujet qui concerne bien entendu les experts, mais pas seulement. Il doit y avoir une prise de conscience collective en la matière.

De façon générale, et ici plus spécifiquement en matière d'IA, elle doit être pensée dès le début de toute démarche pour sortir d'une culture du « *patch* » et penser la sécurité dès la conception des produits et solutions technologiques. C'est l'une des raisons pour lesquelles il est utile de s'appuyer sur des acteurs spécialisés qui, par leur expérience et leur expertise, proposent des solutions. C'est d'autant plus critique que l'actualité récente ne cesse de faire remonter l'existence de failles de sécurité, aussi bien logicielles que matérielles.

Il pourrait être confié à l'Agence Nationale pour la Sécurité des Systèmes d'information (ANSSI) une mission de veille, de prospective et d'étude sur la question de la sécurité de l'IA pour laquelle elle mettrait en réseau les compétences existantes au sein de l'État sur les questions de cyberdéfense, de défense, et de systèmes critiques.

Standardisation

Le domaine de l'IA présente la spécificité de voir naître des standards *de facto*, notamment technologiques : c'est le cas, par exemple, en matière de *deep learning*, des technologies comme *TensorFlow* (développée par Google), qui ont été adoptées, dès leur ouverture, par l'écrasante majorité du marché, que ce soit les industriels, startups ou les académiques. Si ces briques de base évitent à l'écosystème de réinventer sans cesse les mêmes solutions, elles contribuent à imposer un standard de fait. Cette situation peut s'avérer préjudiciable si les GAFAM, qui restent les bénéficiaires, décidaient de récupérer l'ensemble des développements en IA qu'elles permettent.

Ainsi, le plus grand risque en matière d'IA n'est pas porté par les algorithmes eux-mêmes, mais plutôt par l'ensemble de la pile technologique (et humaine) qui permet leur mise en œuvre. Dans ce contexte, la normalisation ne saurait se concevoir sans des liens très étroits avec l'ensemble de l'écosystème – recherche, industrie, innovation. Cette démarche doit consister à réduire les phénomènes de monopole et les logiques d'enfermement. Il s'agira en particulier, dans une démarche proactive et coordonnée, d'établir et d'imposer des normes d'interopérabilité non propriétaires, ainsi que des sorties locales pour les dispositifs producteurs de données personnelles et non personnelles.

Alerte sur votre téléphone : votre frigo vous avertit qu'il n'y a plus de gruyère râpé. L'application en profite pour vous suggérer d'acheter des cornets de glace à la vanille pour l'anniversaire de votre fille. Comme vous êtes un grand consommateur de ce genre de produits, elle vous invite à profiter d'une promotion sur les bols isolants. L'intelligence artificielle est le cheval de bataille du commerce de demain. Imaginons que nos données personnelles, et en particulier nos données santé, soient accessibles à tous les commerçants. Comme dans PERTE DE COMMANDE, ces programmes intelligents pourraient alors devenir très envahissants, voire même créer des litiges dans les couples.

Kim est heureuse. Sa cote bonheur l'atteste. Elle décide de partager une pizza avec Timéo. Disposant des datas du couple, Madame Pizza3D fait dégringoler sa cote bonheur.

Kim est une femme heureuse. Son coefficient bonheur varie entre 77 les jours de mornes plaines et 94 les meilleurs jours. Vu que le bonheur moyen brut dans le pays est de 47, on peut dire qu'elle est vraiment bien lotie. Plusieurs éléments font pencher la balance. Il y a d'abord Timéo. C'est un bon mari et un bon amant. Ils envisagent même d'investir ensemble dans un enfant. Il y a aussi sa famille. Avec eux, même les dîners de Noël ne sont pas une souffrance. Et bien sûr, il y a quelques amis qui savent tant faire la fête que la rassurer. Elle les a acquis grâce à son exceptionnel taux de bonheur. Le bonheur attire le bonheur. C'est si évident que parfois, elle se demande si trop de bonheur ne tue pas le bonheur. Enfin, comme le secret du bonheur est de profiter de chaque instant, elle décide de se faire plaisir en commandant une pizza.

– Timéo, cela te dit une pizza ?

– Grave, ça changera des cafards grillés. Je m'occupe de la commande.

– Commande chez Pizza3D, j'ai un bon de réduction.

– Des clients disent qu'ils ont l'art de vous couper l'appétit, dit Timéo.

– Leurs drones livrent en moins de 5 minutes.

L'idée de déguster une pizza dans peu de temps fait gagner deux points à la cote de bonheur de Kim.

– Allô, bonjour, Madame Pizza3D, je voudrais passer une commande, dit Timéo.

– Prends-moi une pizza mexicaine. Ça me rappellera notre voyage de noces.

– Une pizza mexicaine… Oui, c'est bien pour ma femme… Pour moi, une Coréenne… Pas possible ?… s'exclame Timéo avant d'ajouter : Chérie, c'est cuit pour ta pizza mexicaine.

– Cuit… Déjà ?

– Non, ce n'est pas possible. Madame Pizza3D, dit qu'avec tes hémorroïdes, le piment n'est pas conseillé.

Kim rit de sa méprise. C'est bon de rire pour le bonheur. Mais, subitement, une grimace transforme son visage de femme heureuse.

– Des hémorroïdes ! De quoi se mêle la vendeuse de pizza ? Qu'elle s'occupe de ses fesses.

Timéo secoue la tête et soupire :

– Madame Pizza3D refuse aussi ma Coréenne sous prétexte que j'ai de l'hypertension.

– Elle a raison. Il faut que tu fasses attention. Tes paramètres s'emballent. C'est bon pour ma Mexicaine ? demande Kim.

– Madame Pizza3D, ma femme insiste pour sa Mexicaine.

Timéo serre les mâchoires, dodeline de la tête. Les propos de la vendeuse semblent l'agacer.

– Kim, si tu maintiens ta Mexicaine, tu auras un malus d'assurance de 30 %.

– 30 % ! C'est de l'arnaque.

La réponse est ferme. Il n'a rien de pire pour le bonheur que de se faire rouler dans la farine. Il compose mal avec le mépris ou toutes formes d'irrespect.

Timéo continue sa décomposition.

– Madame Pizza3D a de l'humour, dit-il. Elle dit que le malus ne se nomme pas arnaque, mais prévention ! Elle propose des pizzas allégées au yaourt de soja.

Kim a un geste signifiant que ce genre de futilité n'a aucune importance. Pour elle, le bonheur est un festin de miettes, dont certaines peuvent vous rester à travers la gorge. Timéo reprend l'appareil.

– OK, pour vos pizzas. Vous livrez par drone ?... Pas possible, vous voulez rire ?

– Leur drone est en panne ? demande Kim. Cela ne m'étonne pas. C'est à chaque fois pareil avec les drones. Ils explosent. Ils n'ont plus de batterie. Soit ils sont perdus, soit tu te les prends dans l'œil.

Timéo la regarde comme si la fin du monde venait de frapper à leur porte.

– Cela n'a rien à voir, dit-il. Madame Pizza3D dit que nous n'avons pas assez marché. Tu as fait seulement 8 623 pas.

– Et toi ?

– Moi… Tous mes pas n'ont pas été pris en compte. Depuis qu'un moustique m'a piqué, mon tatouage électronique ne fonctionne plus… Si nous allons à pied chercher nos pizzas, tu auras effectué tes 10 000 pas.

– Pas question. Il fait un temps de cochon.

Kim déteste le comptage des pas. Elle considère que l'important est de se bouger et pas de savoir combien on bouge. La jeune femme a une philosophie de la quantification de l'activité humaine assez basique. Elle aime juste les chiffres qui servent sa cause.

– Madame Pizza3D, que pouvez-vous livrer ? reprend Timéo… Oui… Oui… Parfait… Avec la salade de carottes et les yaourts allégés, mettez une bouteille de vin… Pas possible ? Mais, vous n'avez que ce mot à la bouche.

En entendant son mari, la cote bonheur de Kim chute de 10 points. Il est urgent qu'elle reprenne les choses en main.

– Elle commence à me chauffer, Madame 3D… Donne-moi l'appareil. Bon, Madame Pizza3D, on ne va pas continuer à jouer… Oui… Oui… Oui… Vous êtes certaine… Ce n'est pas possible… Une seconde, je demande… Timéo, avec qui étais-tu au Lovecodebar ?

– Euh, personne.

– Alors, tu as bu quatre cocktails ?

– Ah, je suis bête, j'étais avec une collègue de travail… Donne-moi le téléphone. Je finis la commande et je t'explique… Madame Pizza3D si vous n'arrêtez pas de vous mêler de notre vie privée, je… – Timéo, laisse tomber, maugrée Kim. Ils sont équipés d'un système anti-insultes avec dépôt de plainte immédiat pour outrage à commerçant dans l'exercice de sa prévention.

Le ton monte. La cote bonheur descend. Timéo s'énerve.

– Et vous n'oubliez pas le Cocactus gratuit !… Si, nous y avons le droit. Je le vois dans votre publicité… Non, je ne suis pas en surpoids. Je suis juste un peu enveloppé… Et ma femme ? Quoi ma femme ? Je l'aime et nous sommes très heureux… On peut vous le prouver… Euh… Non… Je… – Timéo, ne te fatigue pas, tu parles à un robot, dit Kim.

Timéo est devenue une loque. Il laisse tomber le téléphone que Kim ramasse.

– Madame le robot… Oui… Euh… Hmm… Un long silence s'en suit. Elle le rompt en disant :

– Timéo, au lieu du Cocactus gratuit, Pizza3D nous offre 15 % de réduction au contrat Jurishelp. Elle dit que cela sera bien utile vu ta présence régulière chez ta collaboratrice Mademoiselle Denoy et l'achat ce mois-ci de 27 préservatifs à la pharmacie centrale.

– Kim, on commande ailleurs. Je t'avais bien dit que Pizza3D coupe l'appétit de ses clients.

Kim ne répond rien. À ce moment, son bonheur est en train de se noyer dans des eaux glauques.

Partie 2 –

Pour une recherche agile et diffusante

La première partie de ce rapport s'intéressait notamment à la compétition mondiale qui est en cours autour des données – compétition dans laquelle les géants ont pour l'instant remporté les premières batailles. Mais une autre compétition se joue sur le front de l'IA : elle concerne les ressources humaines (RH). D'une part, les avancées scientifiques et technologiques sont bien souvent le fait de chercheurs[1] de haut niveau ; d'autre part, l'économie mondiale manque déjà de spécialistes bien formés, phénomène qui va s'accentuer dans les prochaines années (*voir plus bas*) et pour former ces spécialistes, il faut des enseignants du meilleur niveau. La captation, par une politique RH de premier plan, de nos meilleurs cerveaux par les géants de l'IA nuit donc à la fois à la recherche publique et à la formation des scientifiques en intelligence artificielle (chercheurs, ingénieurs) de demain.

1. Dans la suite de ce chapitre, « chercheur » académique devra être compris comme « enseignant-chercheur, chercheur ou ingénieur de recherche », employé des universités, grandes écoles ou organismes de recherche.

Contexte et besoins

L'Enseignement Supérieur et la Recherche (ESR) français en IA a toujours occupé une place de choix au niveau international, de par l'excellence reconnue de la formation scientifique en France, source d'un vivier sans cesse renouvelé de chercheurs au meilleur niveau mondial. Et ce qui était vrai dans les années 80, avec le choix du langage de programmation français Prolog par le ministère japonais de l'Économie, le MITI, pour son programme de cinquième génération, l'est encore aujourd'hui, avec l'essor des réseaux de neurones profonds dont plusieurs acteurs majeurs sont français, le plus célèbre d'entre eux étant Yann Le Cun, travaillant aux États-Unis depuis de nombreuses années, et actuellement entre NYU à New York et Facebook AI Research (FAIR) à Paris.

Cependant, le paysage de la recherche en IA a considérablement changé récemment. En particulier, la frontière entre recherche publique et recherche privée tend à s'estomper : tous les grands acteurs de l'IA ont ouvert des centres de recherche fondamentale richement dotés, implantés dans les zones favorables au développement scientifique, où l'on trouve des chercheurs et des étudiants performants. Facebook vient d'annoncer le renforcement du centre parisien de FAIR et Google l'ouverture d'un centre de recherche à Paris. D'autres suivront très rapidement. On peut se réjouir de ces preuves de l'attractivité de la France. Cependant il faut aussi craindre l'assèchement de la nappe phréatique de l'ESR public proche de l'IA, ces centres de recherche privés étant de gros consommateurs de chercheurs de haut niveau comme d'étudiants brillants fraîchement diplômés.

La frontière entre recherche publique et recherche privée tend à s'estomper

Ainsi, à la fuite des cerveaux vers des institutions académiques étrangères, endémique depuis de nombreuses années du fait des différences de salaires et de conditions de travail, s'ajoute une autre fuite des cerveaux de chercheurs vers les grandes entreprises (GAFAM et autres licornes). Et, du fait du couplage nécessaire entre recherche et enseignement de haut niveau, le résultat de cette accélération se fait maintenant cruellement sentir au niveau de la formation – d'autant plus que la demande de l'industrie augmente (*voir encadré*).

Les capacités françaises de formation universitaire et d'encadrement au niveau master ou doctorat sont devenues critiques (les filières master du domaine sont contraintes de refuser des étudiants brillants tant leurs salles de cours sont bondées, le cours de Stéphane Mallat au Collège de France se donne à guichet fermé, etc.). Les formations privées qui fleurissent sont de qualité inégale – et elles sont coupées de la recherche, ce qui, dans ce domaine en si rapide évolution qu'est l'IA aujourd'hui, n'est pas viable à long terme. Or le besoin sur le marché du travail d'ingénieurs en IA de qualité, à tous les niveaux de qualification, est avéré (*voir encadré*). Il est donc primordial de renforcer considérablement le potentiel de formation supérieur français en IA, en lien étroit avec la recherche.

Une pénurie d'ingénieurs formés à l'Intelligence artificielle

Déjà en 2011, un rapport de McKinsey Global Institute déclarait qu'on manquerait de 190000 *Data Scientists* en 2018, ainsi que de 1,5 millions de managers et d'analystes capables tout simplement de comprendre les enjeux et de prendre des décisions dans le contexte de l'IA.

L'étude de Burning Glass Technologies, BHEF et IBM parue début 2017, quant à elle, prédit que le nombre d'emplois dans le monde pour des *Data Scientists* et *Data Analysts* va augmenter de 28 % dans les cinq prochaines années, pour atteindre 2720000, et que 39 % de ces emplois demandent une qualification niveau master ou doctorat.

Enfin, en décembre 2017, selon une étude compilée par le Tencent Research Institute, il n' y a aujourd'hui que 300000 « chercheurs et praticiens de l'IA » dans le monde, alors que la demande du marché se chiffrerait par millions (même si les méthodes utilisées pour arriver à ces résultats ne sont pas détaillées). Le goulot d'étranglement, pour Tencent, serait précisément la formation. Incidemment, cette étude cite les États-Unis, la Chine, le Japon et la Grande-Bretagne comme les pays les mieux placés dans la course à l'IA, avec mentions spéciales pour le Canada et Israël, en particulier en matière de formation. La France n'est pas citée.

Un autre mal endémique dont souffre la recherche française (et pas uniquement en IA) concerne sa faible performance en termes de valorisation et de transfert vers l'industrie, que ce soit vers des startups ou vers des grands groupes (européens si possible). Si la situation s'est améliorée ces dernières années, avec l'apparition de plusieurs structures visant à favoriser de tels transferts, il n'en existe pas moins une fuite des cerveaux d'entrepreneurs, qui préfèrent aller entreprendre à l'étranger (et principalement hors d'Europe, notamment, le plus souvent, aux États-Unis) du fait des conditions plus propices qu'ils y trouvent, tant au niveau des possibilités de financement disponibles que de l'écosystème entrepreneurial et de la rapidité des circuits de décision.

Enfin, l'IA est en train d'impacter l'ensemble des domaines de recherche. Et se heurte à la faiblesse de la recherche française en termes d'interfaces entre disciplines, puisqu'avoir de brillants chercheurs en mathématiques ou en informatique d'un côté et, par exemple, en physique-chimie ou en médecine de l'autre, ne suffit pas à faire prospérer les recherches interdisciplinaires.

Le phénomène est accentué quand on parle de science des données : alors que la numérisation des autres disciplines scientifiques posait jusqu'ici surtout des problèmes techniques (comme l'enregistrement, la manipulation et le stockage de données, massif ou non), l'arrivée de l'IA définit des problématiques qui nécessitent une collaboration très étroite entre spécialistes. Pour tirer parti de la révolution de l'IA dans tous les domaines scientifiques, il est nécessaire de mettre en place une interdisciplinarité effective entre spécialistes en IA et chercheurs des autres disciplines. Les deuxièmes apportent aux premiers des problèmes originaux qui permettent de faire avancer la recherche ; la résolution de ces problèmes apporte en retour des innovations de rupture. Et ce cercle vertueux ne peut s'amorcer qu'après un minimum d'acculturation mutuelle des chercheurs, au-delà de simples séminaires communs.

Mais la spécificité la plus importante de l'IA par rapport aux autres domaines scientifiques est son impact sur l'ensemble de la société, qui, loin d'être une mode passagère ou un simple phénomène médiatique, promet d'avoir des conséquences primordiales et durables au niveau mondial. L'IA aujourd'hui irrigue tous les domaines, économiques, sociétaux, politiques, culturels… Et la plupart des grandes puissances économiques, qu'elles soient nationales ou privées, l'ont bien compris et investissent massivement dans l'IA. L'enjeu n'est rien moins que le choix de la société dans laquelle nous voulons vivre demain. Et nous devons préserver notre indépendance en la matière si nous ne voulons pas voir ces choix imposés par d'autres. Or parmi les rares atouts de la France en la matière, il y a l'excellence de notre formation scientifique, et des cerveaux qui en sont issus. Il convient de tout faire pour la préserver, la renforcer, et la transformer en succès scientifiques et économiques dans le respect de nos valeurs.

L'enjeu n'est rien moins que le choix de la société dans laquelle nous voulons vivre demain

Créer un réseau d'Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle

La mesure phare préconisée ici vise trois objectifs interdépendants : la (re)constitution d'environnements de recherche attractifs et prestigieux, capables d'avancées significatives à l'échelle mondiale, regroupés sous un label unique, visible et reconnu ; la diffusion d'une formation scientifique de haut niveau en IA, pour les chercheurs, ingénieurs, entrepreneurs de demain ; la fluidification des interfaces, entre disciplines et entre la recherche académique et le monde industriel, favorisant la transformation rapide des idées en preuves de concept (POC), en applications scientifiques, en avancées technologiques et en propriété intellectuelle, à même de créer le tissu de startups et de PME dont dépend l'industrie de demain.

Les trois instituts canadiens

Le Canada, 36 M d'habitants, est aujourd'hui considéré comme un des quatre pays leaders en IA. Le gouvernement fédéral canadien consacre dans son budget pour 2017-2018, une enveloppe de 125 MCAD (80 M€) au lancement d'une stratégie pancanadienne en matière d'IA, pour soutenir la recherche, ainsi que l'attraction et le maintien de talents dans les universités canadiennes (niveaux maîtrise, stagiaires). L'enveloppe de 125 MCAD (80 M€)

sera répartie entre les villes de Montréal, 40 MCAD (25,5 M€), de Toronto, 40 MCAD (25,5 M€), et d'Edmonton, 25 MCAD (16 M€) et permettra de financer les principaux instituts de recherche canadiens qui y sont situés. La gestion des fonds est confiée à l'Institut canadien de recherches avancées (ICRA), qui bénéficie aussi d'un soutien fédéral de 35 MCAD sur cinq ans à compter de 2017-2018.

Le Fonds en recherche d'excellence Apogée Canada a permis d'octroyer une enveloppe globale de 900 MCAD (576 M€) à 13 institutions postsecondaires canadiennes en 2016. Une somme de 213,2 MCAD (136 M€) a été attribuée à l'Université de Montréal, HEC Montréal, Polytechnique Montréal et l'Université McGill. L'Institut de valorisation des données (IVADO, Montréal) spécialisé dans les données massives et l'IA a quant à lui été soutenu à hauteur de 93,6 MCAD (60 M€), auxquels s'ajoutent la contribution du secteur privé de 110,4 MCAD (70 M€), les financements d'établissements d'enseignement supérieur – HEC Montréal, Polytechnique Montréal et l'Université de Montréal de 30,1 MCAD (19 M€), et l'aide du gouvernement provincial du Québec de 14,9 MCAD (9.5 M€).

Aujourd'hui, la Province du Québec est celle qui présente avec la ville de Montréal la plus grande concentration de chercheurs en IA – 250 chercheurs au stade du doctorat à McGill et l'Université de Montréal, qui profitent aussi d'un important bassin d'étudiants en IA (environ 9 000), réparti entre des programmes d'informatique (6 194), d'informatique et génie informatique (1 149), de mathématiques (1 360), de mathématiques appliquées (113) et de probabilités et statistiques (141).

Mailler le territoire et les domaines de recherche

La France se situe dans les tout premiers rangs internationaux en ce qui concerne la recherche en mathématiques et en intelligence artificielle. L'expertise en recherche se trouve cependant dispersée, entre les universités, les grandes écoles et les grands organismes de recherche : le CNRS, sans doute le plus concerné par la recherche fondamentale, l'INRIA, dont les travaux vont du fondamental au transfert vers l'industrie et la société, et le CEA, dont la mission initiale concernait le développement d'applications du nucléaire aux domaines militaire, industriel et scientifique, et qui a su diversifier ses secteurs d'activité pour devenir un acteur important du numérique en général, et de l'IA en particulier. On pourrait également citer les autres instituts de recherche (INSERM, INRA, IRD…) qui sont eux aussi directement impactés par l'IA et ont donc développé une expertise en IA centrée sur leurs besoins.

Est-ce une conséquence de cette dispersion ? Toujours est-il que la recherche française souffre de faiblesses au niveau des interfaces : interface entre les disciplines et interface entre la recherche académique et le monde industriel.

Les instituts 3IA

Dans ce contexte, il est proposé la création de quatre à six Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle (instituts 3IA) répartis sur l'ensemble

du territoire national, et organisés en réseau, le Réseau National d'Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle (RN3IA). Créés sur réponse à un appel d'offres, immergés dans un écosystème scientifique riche de collaborations potentielles, directement impliqués dans l'enseignement supérieur et fortement liés au monde industriel, ces instituts 3IA devront offrir à l'ensemble de la chaîne allant de la recherche à l'innovation des lieux de rencontres propices aux collaborations fructueuses et à la diffusion des savoirs liés à l'IA, permettant à une fraction significative des acteurs concernés et motivés (chercheurs, étudiants, entrepreneurs) un accès direct aux recherches de pointe. En termes de recherche et d'innovation le RN3IA assurera une couverture nationale des domaines de l'IA, en favorisant la diversification géographique et thématique des instituts : on cherchera à éviter les redondances thématiques entre instituts, en particulier en termes de domaines d'applications ou de recherche pluridisciplinaire.

Les thèmes de recherche

Plus précisément, s'agissant des thèmes de recherche, on cherchera un équilibre entre la concentration des efforts et des financements sur les sujets « stars » du moment, et le saupoudrage uniforme de l'ensemble des thèmes présents et passés.

Les thèmes scientifiquement et économiquement dominants du moment (l'apprentissage, et les différents maillons de la *science des données*, ou *analytique des données*, aussi appelée *big data*) ont encore besoin d'être approfondis ; l'apprentissage semi- ou non-supervisé, l'apprentissage par renforcement, l'apprentissage de représentation et le transfert de domaines, et l'apprentissage de données non structurées (données textuelles, tweets, blogs, et autres médias électroniques par exemple) doivent aussi être au programme, sans se limiter à l'apprentissage profond.

Certains domaines de l'IA moins visibles aujourd'hui (représentation des connaissances, Web sémantique, IA distribuée, théorie des jeux) ne doivent pas être oubliés ; ils sont porteurs d'une diversité qu'il ne faut pas abandonner, et qui porte peut-être les germes de la prochaine révolution de l'IA. La diversité est d'autant plus importante face aux GAFAM, qui semblent concentrer leurs efforts sur les domaines les plus visibles : c'est peut-être dans ces autres domaines que nous pourrons créer la surprise face aux moyens mis en œuvre par ces géants de l'IA.

Un ensemble de thèmes stratégiques, et qui apparaîtra en filigrane dans tout le rapport, est lié à l'éthique et concerne la validation et la certification des technologies de l'IA, visant la confiance de toutes les parties prenantes dans leurs résultats : de la validation en termes de preuves théoriques à l'explicabilité, la transparence, la causalité et l'équité.

Plus généralement la théorie (et celle de l'apprentissage profond en particulier) est aujourd'hui en retard sur la pratique, et des collaborations étroites avec d'autres champs des mathématiques et des STIC (sans qu'on puisse vraiment parler d'interdisciplinarité, donc) sont à mettre en œuvre, de la théorie des jeux à la logique et aux preuves formelles en passant par la

théorie de l'information et les approches géométriques. En particulier, les forces françaises dans le domaine de la preuve de programme sont telles qu'une collaboration entre les deux communautés IA et preuves ne peut que déboucher sur des avancées majeures.

Et à défaut d'avancées théoriques immédiates, il est essentiel, pour une dissémination rapide des techniques d'apprentissage, de disposer de moyens de choisir le bon algorithme, puis de le configurer, le tout automatiquement en fonction des données. Il s'agit de recherches proches des recherches en synthèse de programme… dans lesquelles on retrouve d'ailleurs aujourd'hui des approches par réseaux profonds et d'autres approches moins conventionnelles.

Le traitement du langage naturel est, avec celui de la vision et de l'analyse d'images et de vidéo, celui qui a sans doute le plus bénéficié de l'arrivée de l'apprentissage profond (traduction automatique, compréhension et implication textuelle, génération), et on parle d'interfaces langagières comme interface du futur, bien qu'ici aussi il reste des progrès à accomplir avant d'arriver à passer le test de Turing avec un programme d'IA (les exemples de dérives racistes du *chatbot* Tay[2] montrent ici encore l'importance et la difficulté des recherches sur la certification des techniques d'IA). Plus généralement, l'ensemble du domaine des interfaces humain-machine bénéficie déjà des progrès récents de l'IA, ce qui ouvre de nouveaux champs (outre celui de la sécurité) comme celui de l'apprentissage dans un monde ouvert et incertain tout au long de la vie (*Life Long Learning*). Et rejoint des préoccupations du domaine de la robotique, pour lesquelles ici encore une association très intriquée entre chercheurs des deux domaines semble nécessaire.

2. « A peine lancée, une intelligence artificielle de Microsoft dérape sur Twitter », LeMonde.fr 24 mars 2016, http://lemonde.fr/pixels/article/2016/03/24/a-peine-lancee-une-intelligence-artificielle-de-microsoft-derape-sur-twitter_4889661_4408996.html

Un autre domaine crucial est celui de l'optimisation, en lien ou non avec l'apprentissage. Le domaine de la recherche opérationnelle et de l'optimisation combinatoire est ainsi identifié par IVADO (Montréal) comme l'un de leurs trois domaines d'expertise, distinct de l'IA pour eux, donc. Quoi qu'il en soit, les retombées économiques (toute la logistique, pour n'en citer qu'une), et les impacts sur l'IA en général (planification, résolution de contraintes,…) sont innombrables. Plus généralement, l'ensemble des domaines faisant appel à de la modélisation jusqu'ici obtenue par l'application des premiers principes, se retrouvent confrontés à des modèles alternatifs que l'on peut construire à partir des données – la voie idéale consistant sans doute à faire coopérer les deux approches pour obtenir le meilleur des deux mondes.

Mais, et il est sans doute utile de le répéter, il convient également de préserver des champs de recherche qui ne seraient pas cités ici et d'encourager l'originalité. Suivant un raisonnement analogue, quoique sur un plan un peu différent, il convient également, au travers des instituts 3IA, d'encourager les recherches interdisciplinaires.

L'interdisciplinarité

Les retombées pluridisciplinaires de l'IA ont été évoquées, rendant nécessaires à la fois de véritables recherches conjointes, et pas simplement l'application de techniques d'IA aux autres disciplines, mais de manière symétrique la formation à l'IA des étudiants et des chercheurs des autres disciplines afin

qu'ils puissent acquérir une véritable double compétence. En fonction des forces disponibles (et volontaires) localement, chaque institut 3IA privilégiera un petit nombre de domaines déjà présents et actifs dans son écosystème, de l'ESR à l'entrepreneuriat, qu'il pourra associer à son projet.

Les domaines-cibles pourraient faire partie par exemple des sciences humaines et sociales, de l'économie et du droit, de la physique et de la chimie, de la biologie et de la santé, de l'écologie et du développement durable, de l'ingénierie numérique, du domaine de l'interaction humain-machine et de la culture…

Un domaine particulier est celui des sciences humaines et sociales (SHS), du fait de l'impact fort de l'IA sur l'ensemble de la société, qui pose naturellement de nombreuses questions éthiques qui sont de son ressort (voir la partie qui leur est consacrée), auxquelles il conviendra de sensibiliser l'ensemble des acteurs des instituts 3IA dans la mesure où ces questions peuvent se décliner différemment dans les différents domaines.

Réunir chercheurs, étudiants et entreprises

Les chercheurs

Les instituts 3IA accueilleront les chercheurs de réputation internationale, attirés par le retour au pays, par la culture française ou par la renommée scientifique des autres membres. Ils auront également pour mission d'offrir à nouveau un futur attirant en France pour les jeunes chercheurs qui ont reçu l'excellente formation française.

La liberté des chercheurs de la recherche publique est sérieusement mise à mal par la nécessité de financer leurs recherches sur programme

L'idée reçue suivant laquelle la recherche publique, à défaut de salaires suffisants, offre une liberté importante, doit être remise en cause. D'une part, parce que, quoiqu'inégale suivant les employeurs, la liberté des chercheurs dans les laboratoires de R&D de pointe des GAFAM est réelle. D'autre part, parce que la liberté des chercheurs de la recherche publique est sérieusement mise à mal par la nécessité de financer leurs recherches sur programme. Ils passent un temps de plus en plus long à répondre à des appels d'offres dont les pourcentages de succès tendant vers l'infime[3], sans parler du temps passé à évaluer les projets des collègues sans même pouvoir pousser leurs projets favoris. L'alternative est souvent de trouver des sujets de recherche collant aux priorités industrielles, alors que les problèmes industriels ne devraient être qu'une source d'inspiration intarissable, mais non contraignante. S'ajoute à cela pour les chercheurs du public l'augmentation continue des lourdeurs administratives incessantes (embauches, achats, missions…), qui contribue également significativement au manque d'attractivité – et de compétitivité – de l'environnement de recherche français. Sans parler des charges administratives qui vont croissantes avec la densification du mille-feuille administratif dans l'ESR national.

3. Autour de 12 % pour les appels ANR 2016 et 2017, moins de 5 % pour les appels FET du programme européen H2020.

Certes, le gouffre salarial entre le public et les GAFAM ne peut être comblé. Mais un salaire suffisamment élevé – permettant par exemple de se loger en région parisienne – est cependant nécessaire[4].

4. Aujourd'hui, le salaire d'un chercheur débutant, après 8 ans d'études post-bac, est de l'ordre de 1,7 SMIC.

La véritable marge de manœuvre réside dans les conditions d'embauche que la recherche publique peut proposer, en particulier la stabilité de l'emploi, seule à même de permettre une recherche sereine à long terme.

Les conditions de travail – allant des facilités de calcul aux facilités administratives en particulier pour les étrangers – seront discutées plus bas. Il faut souligner que le mille-feuille administratif est illisible pour les chercheurs étrangers que nous voulons accueillir, et totalement dissuasif pour les Français de l'étranger, qui le connaissent à travers leurs collègues et amis : des conditions *ad hoc* devront impérativement être mises en place.

Les obligations des chercheurs se résumeront à participer à l'enseignement (un ou deux modules par an), à l'animation d'un séminaire et, sur une base volontaire, à participer aux échanges avec les membres industriels affiliés.

Les instituts pourront accueillir les chercheurs selon plusieurs statuts ; les modalités choisies (et les modes de recrutement) sont laissées à l'appréciation des instituts eux-mêmes (principe d'autonomie).

- les Compagnons (*Fellows*) seront présents à temps plein, détachés de la fonction publique ou embauchés directement, suivant les cas. Leur financement comprendra, outre un salaire conséquent, le budget environné pour une équipe de doctorants et chercheurs postdoctoraux travaillant sur leur programme de recherche. Ils seront les garants de la réputation de l'Institut, chargés de l'animation scientifique (séminaires de recherche, invitations,…), et devront s'impliquer dans une formation supérieure locale. Ils pourront sur une base volontaire animer les relations avec les affiliés industriels ;
- les Compagnons associés seront présents à temps partiel, occupant le reste du temps le poste dont ils sont titulaires ; ils bénéficieront également de financements de type chaires : complément de salaire et budget pour une petite équipe de recherche autour de leur projet ;
- les Affiliés sont des chercheurs statutaires, proches thématiquement de l'Institut. Ils seront co-optés par les Compagnons pour participer aux charges et aux bénéfices, avec une obligation minimum de participation régulière aux séminaires et discussions afférentes ;
- des chercheurs seront invités en tant que visiteurs résidents pour des périodes de 3 mois à un an, éventuellement réparties sur plusieurs années, profitant par exemple de leurs périodes d'été ou sabbatiques, de manière analogue aux chaires Blaise Pascal, ou aux chaires internationales Inria. Ils pourront bénéficier d'indemnités de logement et de séjour, et pourront également inviter leurs étudiants pendant de plus courtes périodes, voire embaucher un postdoc pour la durée de leur séjour.

Chacun de ces statuts devra être accessible à plusieurs niveaux de séniorité : les seniors assureront la réputation et le pilotage scientifique, les juniors participeront activement à l'encadrement des doctorants et des postdocs.

La formation

Les chercheurs d'un institut 3IA devront contribuer significativement à l'enseignement supérieur de l'IA dans leur région d'implantation, créant ou renforçant des filières de formation supérieure de qualité attractive de par la présence de chercheurs de haut niveau au cœur de l'équipe enseignante. L'engagement d'enseignement des membres recrutés serait compris entre un et deux modules par an.

La formation continue destinée aux entreprises affiliées ainsi qu'aux chercheurs d'autres disciplines, aussi importante que la formation classique licence/master, pourra être assurée par exemple par les chercheurs postdoctoraux embauchés par l'institut 3IA. L'organisation de défis pourrait constituer un véhicule utile pour partager les données, l'expérience acquise et disséminer les bonnes pratiques en termes de « poser un problème » et valider une solution en IA. L'expérience acquise par le labex AMIES[5] pourra également servir d'inspiration, en soulignant que la demande dépasse très significativement l'offre. Les bonnes idées abondent et sont accueillies avec enthousiasme aussi bien par les industriels que par les étudiants : la barrière est le manque de temps des encadrants compétents et motivés.

5. Le labex Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société propose des Projets Exploratoires Premier Soutien (PEPS) pour le défrichage d'idées immatures ; une foire de l'emploi ; etc.

Pour répondre à cette demande, les solutions consistant à faire intervenir les étudiants de niveau master dans la formation des étudiants de licence pourront être explorées. La construction par les élèves de master de défis à usage de leurs camarades de licence (comme pratiquée par exemple à l'Université Paris-Saclay) constitue un exemple d'innovation pédagogique et pratique remarquable, dans un domaine comme l'IA où l'importance des défis n'est plus à démontrer.

Quatre points essentiels devront être pris en compte au niveau de la formation en IA : ils sont relatifs à la diversité des étudiants d'une part, et aux impacts de l'IA sur la société d'autre part (voir la partie éthique de ce rapport). Certains apprennent en prouvant et d'autres en faisant. Il est nécessaire d'offrir aux étudiants tournés vers la théorie une formation décloisonnée entre mathématiques et informatique. Parallèlement, il est nécessaire d'offrir des modules intenses en expérimentation, dotés des moyens de calcul appropriés. En troisième lieu, les dangers d'une mise en œuvre aveugle de l'IA appellent la définition dans les instituts de cursus interdisciplinaires (Maths / Info / SHS) à même de poser les questions liées à l'éthique des IAs que nous saurons mettre en place demain – et dans tous les cursus IA, de modules obligatoires destinés à sensibiliser les étudiants à ces questions. Le réseau des instituts 3IA pourra ici jouer un rôle d'aide à la diffusion. Enfin, il est nécessaire que les étudiants puissent bénéficier d'une formation à l'entrepreneuriat, profitant directement de la présence de startups partenaires de l'institut – et réciproquement, par exemple, dans le cadre d'enseignements par projets.

Les entreprises

Le besoin des entreprises de pouvoir attirer, retenir des ingénieurs bien formés et de disposer d'un circuit court d'interaction avec la recherche de pointe, est attesté à tous niveaux. Le besoin d'expertise, notamment en ce qui concerne le choix des solutions technologiques, est également avéré, et le manque de cette expertise est clairement dommageable pour les solutions de la French Tech.

Les instituts 3IAs répondront à ces besoins, irrigueront le tissu industriel en tenant compte de sa diversité et constitueront un tremplin pour la valorisation et le transfert des résultats de recherche conjointe avec l'industrie. Le mode d'action retenu[6] est de faire se côtoyer au quotidien toute la chaîne allant de la recherche fondamentale au transfert industriel, des chercheurs aux ingénieurs R&D et aux entrepreneurs du privé, lors d'événements à la fois formels et informels.

6. Cet axe procédera en collaboration étroite avec l'initiative EngageIA du réseau des IRTs, qui propose à ses partenaires privés des premières approches d'évaluation de ce que peut leur apporter l'IA.

La plupart des entreprises lancées dans de la recherche en IA pour leurs propres besoins d'innovation n'ont pas les moyens d'investir dans des chercheurs en recherche fondamentale (à la différence des GAFAM et grands groupes français ou européens, dans leurs filières métier). Leur participation à l'un de ces instituts leur permettra de maintenir une veille technologique très pointue pour ce domaine en très rapide évolution qu'est l'IA ; de bénéficier des conseils des chercheurs et de l'ensemble de l'écosystème, dont les moyens de calcul, pour des projets communs avec les chercheurs ; de concrétiser très rapidement, et avec un minimum de travail administratif, les projets les plus prometteurs en POC (*Proof of Concept*) ; voire de lancer des projets plus ambitieux en collaboration avec des chercheurs, jusqu'à des laboratoires communs ou le lancement de startups communes.

Le besoin des entreprises de pouvoir attirer, retenir des ingénieurs bien formés et de disposer d'un circuit court d'interaction avec la recherche de pointe, est attesté à tous niveaux

L'interaction directe entre recherche publique et entreprises innovantes, startups, PME ou grands groupes « institutionnels » souffre présentement de lourdeurs administratives, même en cas d'accord entre tous les partenaires techniques. Des accords-cadres feront partie des réponses à l'appel d'offres lancé pour la création des instituts 3IA. Ils pourront également s'intégrer dans les facilités administratives offertes par la coordination nationale des instituts 3IA. L'objectif est d'obtenir des circuits de décision et les formalités associées (allant des *Memorandum of Understanding* aux accords sur la propriété intellectuelle) très réduites (par exemple, à l'échelle de la semaine).

Les entreprises auront la possibilité de s'associer aux dossiers présentés par les établissements, de manière graduelle selon leur degré de maturité et leur surface financière, sans pour autant être des membres permanents (statut de membre « affilié »). Cela leur permettra d'accéder aux séminaires de recherche et à des étudiants bien formés, ainsi que de disposer de ressources de conseil de la part des membres de l'institut 3IA, sur une base volontaire de gré à gré ; le support administratif institut 3IA pourrait comprendre un

accord-cadre pour ce type de collaboration, comprenant la possibilité de travail partagé entre recherche et industrie, avec passerelle d'aller et retour.

Formellement, plusieurs niveaux d'implication dans les instituts 3IA devront être possibles, correspondant à des degrés différents de participation à la vie scientifique (ici encore laissés à l'appréciation de chaque institut 3IA).

– les membres permanents contribueraient chaque année, sous la forme d'une somme forfaitaire, au budget de l'institut et de l'établissement d'accueil. Certains de leurs chercheurs (ingénieurs de recherche maison) pourraient être détachés dans les locaux de l'institut, à temps plein ou partiel, travaillant de concert avec les chercheurs – en particulier, bénéficiant des conseils permanents irremplaçables qu'apporte la co-localisation. Afin d'éviter que ce statut ne soit accessible aux seuls grands groupes, les contributions annuelles de ces membres permanents industriels de l'institut 3IA pourront être modulées en fonction de l'importance financière du cotisant ;
– les membres « affiliés » s'acquitteraient d'une cotisation annuelle moindre, et pourraient envoyer leurs représentants assister aux séminaires de l'institut, pour discuter avec les chercheurs des problèmes métier qu'ils rencontrent. Ce statut permettrait en particulier aux startups déjà convaincues de l'utilité de la chose d'interagir régulièrement (quelques heures par semaine) avec la recherche de tout premier plan (voir l'exemple du Technion) ;
– les membres « occasionnels » pour un prix forfaitaire pourraient bénéficier d'un nombre d'heures de consultance avec les chercheurs de l'institut, sur une base volontaire ;
– certains entrepreneurs potentiels pourraient bénéficier d'un statut d'invité, pour une courte durée afin d'étudier in situ la viabilité d'idées innovantes. En ce sens, les instituts adoptant ce modèle joueraient presque le rôle de startup studio pour des innovations nécessitant l'implication de chercheurs, c'est-à-dire demandant le développement de nouvelles approches fondamentales, au-delà de la simple application de technologies existantes (voir également plus bas une recommandation plus générale concernant la création de startups) : le RN3IA pourrait jouer le rôle d'interlocuteur et de facilitateur ici aussi.

Dans tous les cas, il est supposé que les ingénieurs R&D et les entrepreneurs participant à la vie scientifique de l'institut ont déjà un bon niveau de connaissance de l'IA, et de ce qu'elle peut éventuellement apporter à leur activité.

Le programme « affiliates » au Technion

Le Technion (Haïfa, Israël) est la plus vieille université publique israélienne. Ses programmes *Industrial Affiliates* (IAPs) visent à faciliter les liens directs entre la recherche académique et l'industrie. Financés par des droits d'adhésion, ces programmes permettent l'accès des industriels aux départements et aux programmes de recherche dans leurs domaines d'intérêt. Les membres affiliés peuvent assister aux séminaires et réunions de travail, reçoivent des copies des rapports et autres publications et ont un accès privilégié aux étudiants qu'ils peuvent inviter à venir exposer leurs travaux dans des séminaires internes, en vue de leur recrutement éventuel. Ils sont également des partenaires

privilégiés pour soumettre des propositions de projets collaboratifs aux divers appels nationaux et européens, et bénéficient de facilités pour créer des centres de recherche communs avec les départements de l'Université. Ces programmes transcendent les frontières traditionnelles entre académie et industrie pour aboutir à des relations gagnant-gagnant dans un contexte d'excellence scientifique.

Le support

L'attraction et l'efficacité des instituts 3IA reposent sur trois axes support : 1. L'accès à des moyens de calcul quasi-illimités ; 2. Des procédures administratives simplifiées au maximum ; 3. L'aide aux conditions de vie, en particulier pour les chercheurs étrangers.

L'axe *calcul* est essentiel : les grands acteurs de la recherche privée en IA disposent de facilités de calcul incommensurables avec celles des laboratoires publics et d'un accès à des données de plateformes qui sont hors de portée de la recherche publique, pour des raisons de propriété industrielle évidentes. Les instituts 3IA proposeront des facilités de calcul dédiées, avec mise en commun d'un ensemble de données ouvertes (proposition).

L'axe administratif est essentiel : tout chercheur attiré en France puis rebuté par les délais de réponse et les arguties incompréhensibles de l'administration fera une contre-publicité durable à l'ensemble de notre système. Il faut relâcher la pression administrative. Les facilités permises par des fondations ou des associations loi 1901 par exemple, doivent devenir la règle au sein des instituts 3IA, notamment en ce qui concerne les embauches et les achats. Les grilles de salaire de la fonction publique sont dissuasives, nous espérons l'avoir montré, compte tenu de deux faits : 1. La productivité varie de plusieurs ordres de grandeur entre les chercheurs dans ce domaine ; 2. Il existe des concurrents nombreux et capables de verser des salaires royaux après un circuit de décision court.

Tout chercheur attiré en France puis rebuté par les délais de réponse et les arguties incompréhensibles de l'administration fera une contre-publicité durable à l'ensemble de notre système. Il faut relâcher la pression administrative

Outre les embauches, en ce qui concerne les achats et les missions, il faut renverser la charge de la preuve, en autorisant systématiquement les achats par carte achat, et en effectuant des contrôles *a posteriori* sur les missions.

Enfin, l'aide à l'accueil des étrangers est indispensable pour accueillir non seulement des chercheurs, mais aussi des étudiants, éventuellement non francophones : titres de séjour et relations avec la préfecture ; aide au logement ; aide pour trouver un emploi à l'autre membre du couple ; aide à la scolarisation des enfants ; aide culturelle. Des aides similaires doivent aussi être proposées en cas de mobilité en France.

La communication

Les instituts 3IA pourront mener une politique de communication et de diffusion des idées de recherche en IA auprès des médias, des politiques et de la société en général. Cette compétence, très présente chez les géants du numérique, est l'un des pilliers de leur succès ; elle est fondamentale pour renforcer les vocations, la cohésion sociale entre sciences et société, l'acceptabilité et la compréhension par les citoyens, le rapprochement entre la recherche et les sphères de décision.

Les instituts 3IA pourront être épaulés dans cette tâche par d'autres acteurs qui ont déjà cette expertise dans la communication scientifique en mathématiques et informatique : Inria, CNRS, Institut Henri Poincare (et la Maison des mathématiques à venir), Fondation Blaise Pascal, réseau AuDiMath...

Installer une coordination nationale

Les instituts 3IA devront être fortement et robustement connectés entre eux, tant scientifiquement qu'au niveau organisationnel.

Scientifiquement, il s'agira de pouvoir partager des séminaires (amphithéâtres vidéoconnectés de manière robuste), organiser des discussions distantes (murs de présence dans les lieux de vie), mettre en commun un maximum d'outils d'enseignements, TDs, défis, etc, mutualiser les stages et partager leurs résultats. Il faudrait également installer un dispositif de partage d'expertise entre les différents instituts 3IA, pour des évaluations croisées de dossiers (recrutement ou autres projets lancés par l'un des instituts 3IA). Une plaque tournante d'information partagée est seule à même de garantir un fonctionnement souple et rapide de tels échanges. On peut également imaginer l'organisation d'un événement annuel de bilan et partage d'expériences en présentiel, à destination des financeurs et du public, qui demandera également une certaine coordination nationale, tant scientifique que logistique d'ailleurs.

Au niveau organisationnel, il faudra mettre au point (et maintenir dans la durée) l'ensemble des procédures administratives évoquées plus haut, basées sur des expertises administratives et juridiques particulières en termes, entre autres, de propriété intellectuelle et de contrats-cadres. Il ne faut évidemment faire ce travail qu'une fois et créer un point de contact unique pour l'ensemble du réseau des instituts 3IA. Il faudra également assurer une visibilité internationale du réseau en tant que tel, un point d'entrée unique capable d'aiguiller les demandes d'informations vers l'institut le plus à même de répondre.

Quel que soit le procédé retenu pour relâcher la pression administrative, il peut être pertinent de ne pas les dupliquer et d'en faire une unique implémentation au niveau national, puis de permettre à tous les instituts 3IA du réseau d'en bénéficier. Cela suppose une parfaite circulation de l'information, mais aussi des flux financiers, permettant à chaque institut de rester maître de son budget tout en en déléguant en partie la gestion.

Il faut donc une structure de coordination, maîtrisant l'ensemble des expertises administratives du monde de la recherche à celui de l'innovation – et qui de plus qualifié pour porter une telle structure qu'un institut de recherche dont

la mission est précisément *l'excellence scientifique au service du transfert technologique et de la société*, et qui possède déjà toute l'expertise nécessaire, et, sans doute plus important encore, la culture nécessaire pour mener à bien cette mission ?

Amorcer le processus par un appel à projets

La légitimité des instituts 3IA ne sera assurée que si leur création est effectuée sous le contrôle d'un jury international indépendant (condition nécessaire, même si pas toujours suffisante). Il ne s'agit pas ici de retomber dans le travers dénoncé plus haut, à savoir une perte de temps et d'énergie pour les chercheurs que génère le financement de la recherche par programme, mais de créer des instruments de grande taille, sur le moyen et long terme (pour au moins 7 ans, renouvelables)[7].

7. On notera que le processus envisagé ici est proche de celui utilisé pour la sélection des Instituts de convergence. Le seul Institut de Convergence dans le domaine du Numérique, DATAIA, coche d'ailleurs déjà presque toutes les cases d'un institut 3IA.

Un appel à propositions devra donc être lancé. Un processus en deux temps (dossier court, puis dossier complet), mais un jury unique, est préconisé pour éviter du travail inutile aux candidats comme au jury. Il faudra également veiller à la répartition tant géographique que thématique de l'ensemble des instituts acceptés, ce qui peut être l'objet principal de la première phase de sélection, qui ne garderait alors qu'un nombre limité de candidats, quitte à imaginer, le cas échéant, un second appel au cas où la qualité des dossiers longs du premier tour serait jugée globalement insuffisante par le jury.

Dans tous les cas, une grande autonomie doit être laissée à chaque institut en termes de vision, d'organisation et de gouvernance, afin de permettre le développement de solutions originales, adaptées aux particularités locales et aux expertises spécifiques. La cohérence de l'ensemble sera assurée par la définition de quelques contraintes générales ; l'impératif de grande liberté pourra permettre d'accepter qu'elles ne soient pas toutes simultanément respectées par un institut donné.

- le projet doit être porté par un ou plusieurs établissements d'enseignement supérieur ou de recherche existant, pour éviter la multiplication des structures nuisant à la lisibilité du paysage de la recherche française. Considérant les engagements forts à prendre vis-à-vis de l'enseignement, il semble naturel que le montage implique au moins un établissement d'enseignement (université ou école), qui pourra s'engager à fournir des moyens (par exemple les locaux permettant à l'institut de fonctionner sans dépenses immobilières) – même si le principe d'autonomie déjà cité doit s'appliquer ici aussi. En contrepartie, on pourrait imaginer que certains de ses Compagnons puissent être recrutés de manière pérenne après une période d'exercice fructueux (au moins 5 ans). Mais cela pourrait être également un institut de recherche, qui sera peut-être plus enclin à apporter du personnel support par exemple ;
- le projet doit comporter un plan d'occupation de locaux, préférentiellement des locaux existants mis à disposition par un des porteurs. Il faut toutefois prévoir qu'un budget additionnel puisse être demandé pour l'aménagement voire la construction de nouveaux locaux – dûment justifiée ;

- le projet doit être fondamentalement interdisciplinaire ;
- le projet doit contribuer significativement à renforcer la formation en IA. En particulier, l'ensemble des chercheurs éventuellement associés à l'institut 3IA doivent s'engager à assurer au moins un cours par an. La création de nouvelles filières, en particulier des filières interdisciplinaires doublement diplômantes, fonctionnant sur projet (*voir encadré*) doit être fortement encouragée, et doit intervenir parmi les critères de choix du jury ;
- le projet doit comprendre un programme d'affiliations industrielles, et l'engagement d'un certain nombre d'industriels locaux concernant leur participation, accompagné de contrats-cadres portant sur le partage de la propriété intellectuelle.

Le financement

Un financement de base conséquent doit être apporté par la puissance publique lors de la création des instituts 3IA. Cela doit permettre à l'institut de fonctionner *a minima,* incluant le fonctionnement au quotidien : les frais usuels de fonctionnement ; le financement des personnels d'appui de la recherche (des assistants aux ingénieurs système et ingénieurs de recherche) ; et le financement de quelques projets de recherche (chaires, projets interdisciplinaires, invitations,…) – et éventuellement, comme mentionné plus haut, de financement immobilier argumenté.

Au-delà du fonctionnement *via* l'appel à projet, il sera fait appel aux financements privés, mais à parité publique et privée, l'État abondant tout financement privé. Plusieurs niveaux d'implication pourraient être proposés aux industriels (voir plus haut), qui pourront ainsi bénéficier d'une expertise dédiée à leurs besoins. D'autre part, quoiqu'encore peu usité en France, un appel au mécénat, en particulier auprès des startupers de l'IA qui ont réussi, devra aussi être exploré.

Les besoins budgétaires des mesures préconisées pour la création des instituts 3IA et du RN3IA, et plus généralement de l'ensemble des recommandations de ce chapitre, restent bien modestes, comparés aux dépenses qui mériteraient d'être déployées dans les autres secteurs, alors que le retour sur investissement, certes à moyen et long terme, sera énorme si l'objectif de création d'un tissu fertile pour les entrepreneurs est atteint.

Intégrer ce réseau dans l'espace européen de la recherche en IA

Le RN3IA, *via* sa coordination nationale, pourra devenir le principal interlocuteur de nos partenaires européens pour assurer la connexion de la recherche française en IA avec les grands centres d'IA européens (DFKI, MPI et les réseaux Helmholtz, Fraunhofer et Leibniz en Allemagne, Alan Turing Institute en Grande-Bretagne, IDSIA et Écoles Polytechniques Fédérales en Suisse, CWI en Hollande, IRIDIA en Belgique, Sapienza Roma et les autres centres de recherche en robotique et IA d'Italie…), en particulier dans le cadre de l'émergence en cours d'un grand réseau européen de l'IA, au sein duquel ce réseau d'instituts français aura naturellement vocation à représenter l'écosystème

français. L'axe franco-allemand sera (et est déjà) privilégié dans un premier temps. La forme que prendra un tel réseau n'est pas encore connue, mais pourrait suivre le modèle de l'EMBL (*European Molecular Biology Laboratory*) qui fonctionne avec succès depuis 1974.

D'autres partenariats européens sont souhaitables, avec les instruments du programme H2020[8] comme les partenariats public-privé qui existent en robotique et en *big data*.

8. *Horizon 2020*, le programme de recherche de la communauté européenne en cours.

Mais chaque institut 3IA aura bien entendu toute latitude d'établir des relations privilégiées avec tel ou tel partenaire, européen ou pas, en fonction de ses spécificités et des relations personnelles de ses chercheurs. Il existe par exemple des liens privilégiés avec nos cousins québécois, qu'il convient de cultiver au regard de la dynamique en IA qui s'y développe en ce moment.

Il s'agit également d'inciter au renforcement de la présence des chercheurs aux côtés des entrepreneurs de la French Tech dans les grands évènements européens ou mondiaux (Consumer Electronic Show, Web Summit and Founders Lisbon,…).

Des moyens de calcul pour la recherche

Les instituts 3IA doivent pouvoir disposer d'outils de calcul qui leur permettent de rivaliser avec les moyens quasi-illimités des grands acteurs privés. Il existe cependant de nombreux besoins, de natures différentes, qui couvrent les différentes phases de la recherche, du développement et de la vie des produits. En effet, dans certains domaines tels que celui de l'apprentissage automatique, le cycle de développement comporte deux phases principales qui sont l'apprentissage et l'inférence. La vitesse et la performance de la phase d'apprentissage sont conditionnées par l'ampleur des moyens matériels qui leur sont alloués, notamment en matière de processeurs dédiés (aujourd'hui principalement des GPU). La dimension des infrastructures conditionne donc la productivité et l'efficacité de la recherche et du développement. La seconde phase est celle de l'inférence, beaucoup plus légère en besoin de ressources matérielles.

Il faut cependant distinguer plusieurs types de flux de travail dans la phase d'apprentissage : les cas qui mobiliseront en grande partie un supercalculateur adapté à l'IA (ressources se comptant en milliers de GPU typiquement) sont assez rares et ne concernent qu'une partie de la recherche en IA. La grande majorité des applications nécessite une quantité de ressources beaucoup plus restreinte (ressources se comptant en dizaines de GPU par exemple). Il faut donc distinguer ces deux besoins complémentaires et ne pas les confondre car ils sont très différents par nature et dans leurs implémentations :

– un besoin en supercalculateur conçu et dédié entièrement à l'IA ;
– un besoin en « *cloud* adapté à l'IA » dont la recherche sera l'un des bénéficiaires.

Développer un supercalculateur pour les besoins de la recherche

Il est proposé de mettre en place un supercalculateur conçu spécifiquement pour les applications d'intelligence artificielle (ces architectures diffèrent notablement de celles des supercalculateurs HPC classiques), et ce au profit unique de la recherche française, à commencer par les membres des instituts 3IA, décrits ci-dessus, et de leurs partenaires industriels dans le cadre de projets communs. Limiter l'accès à un accès gratuit pour la recherche est la seule manière d'aboutir à un accès aussi simple au niveau administratif qu'au niveau de l'utilisation quotidienne. En effet, une ouverture plus large et payante pour certains entraîne en pratique une rigidité notable dans l'utilisation de l'outil.

La conception d'une telle infrastructure nécessitera de faire appel à des entreprises privées spécialistes du domaine et d'établir un cahier des charges spécifique à l'IA. Par ailleurs, la gestion technique de l'infrastructure pourrait être déléguée à un organisme comme le Grand équipement national du calcul intensif (GENCI). Celui-ci dispose déjà de nombreuses compétences utiles à cette fin (ingénieurs, administrateurs,...). Il devra néanmoins les élargir aux spécificités de l'IA (qui, permettons-nous d'insister, sont différentes de celles du HPC traditionnel), afin d'être capable d'intégrer du matériel performant renouvelé continûment, des piles logicielles mises à jour avec les dernières avancées algorithmiques, des capacités de stockage des données garantissant la sécurité d'accès (sur un modèle emprunté par exemple à Teralab) afin que les partenaires privés nationaux n'hésitent pas à lui confier leurs données à des fins de recherche.

À noter que cette préconisation est assez proche de celle faite par le groupe de travail de l'alliance Allistène pour une infrastructure HPDA du nom de GENIAL (Grand Équipement National pour l'Intelligence Artificielle), dont nous pourrions reprendre l'essentiel mot pour mot, en particulier en ce qui concerne l'importance de garantir un accès le plus souple possible, et le mécanisme proposé pour ce faire d'une partition en accès libre avec contrôle *a posteriori* et d'une autre partition en accès sur réservation.

Négocier un pass dans un cloud *privé pour la recherche*

Ce supercalculateur ne comblera néanmoins pas l'ensemble des besoins de la recherche en calculs de type *cloud* pour des expérimentations rapides et souvent exotiques en termes de configuration matérielle ou logicielle, tels qu'on peut les trouver sur les grands acteurs Cloud privés (AWS, Azure,...).

Pour le besoin en *cloud* de l'IA, il est proposé de mettre en place un forfait d'accès à un *cloud* adapté à l'IA. Ce forfait (en temps de calcul et espace de stockage au moins adaptable) pourrait être alloué en fonction des équipes et de leurs besoins. L'objectif ici est également de conserver une souplesse maximale dans l'accès à l'infrastructure. Étant donné l'ampleur d'un tel projet, ce *cloud* de l'IA aura vocation à être développé à un niveau européen par un partenariat privilégié avec un acteur spécialiste européen du domaine. L'utiliser pour la recherche aurait donc un double effet levier, sur la recherche tout d'abord, mais

également pour « impulser une dynamique industrielle européenne de l'IA », idée développée dans la première partie de ce rapport.

Rendre plus attractives les carrières dans la recherche publique

Revaloriser les carrières d'enseignants chercheurs et de chercheurs, en particulier en début de carrière

Même s'il est illusoire de penser rivaliser avec les offres des GAFAM en termes financiers, l'écart est actuellement si important qu'il tend à décourager les jeunes diplômés, même ceux qui sont le plus attachés à la recherche publique et au bien commun. Un minimum de doublement des salaires de début de carrière est indispensable sous peine de voir se tarir définitivement le flux de jeunes prêts à s'investir dans l'enseignement supérieur et la recherche académique.

Augmenter l'attractivité de la France pour les talents expatriés ou étrangers

Le statut de chercheur permanent est l'un des derniers atouts de la recherche française par rapport à l'ensemble de ses concurrents, que l'on parle des grandes industries du numérique ou des institutions publiques à l'étranger (Europe comprise), et souvent le seul contre-argument face aux salaires ridicules proposés. Mais pour un chercheur senior, rentrer dans le système français représente une marche très haute financièrement parlant (rachat des cotisations sur une longue période) qui pourrait être en partie franchie avec une aide *ad hoc*, ce qui semble quasiment impossible aujourd'hui.

Un minimum de doublement des salaires de début de carrière est indispensable sous peine de voir se tarir définitivement le flux de jeunes prêts à s'investir dans l'enseignement supérieur et la recherche académique

D'autres mesures d'aides ponctuelles pourront être également envisagées, à prévoir au cas par cas (voir les préconisations dans le cadre des instituts 3IA qui n'ont pas vocation à être limités au RN3IA). Des aides similaires devraient également être proposées pour des mobilités nationales, afin de ne pas défavoriser en creux les chercheurs déjà titulaires en France, créant ainsi paradoxalement des incitations à émigrer, même si c'est pour mieux revenir. Une fois de plus, cette mesure n'est pas propre à l'IA, mais est rendue plus nécessaire que jamais face à la concurrence des GAFAM.

Former plus de spécialistes de haut niveau en IA

D'une part, le manque de diplômés de haut niveau en IA est flagrant, et va s'accentuer dans les années à venir selon toutes les prédictions (voir plus haut) – même s'il est également nécessaire de former des scientifiques à des niveaux intermédiaires (Bac +2, Bac +3). Il faut donc augmenter considérablement le nombre d'étudiants en master et en doctorat en IA.

D'autre part, la motivation des enseignants-chercheurs passe aussi par la possibilité d'animer un groupe de recherche – ce qui commence par la possibilité d'embaucher facilement et rapidement des étudiants master et doctorants.

Or même si certaines préconisations proposées ci-dessus entraînent, si elles sont adoptées, une augmentation mécanique du nombre de doctorants, il convient de ne pas limiter cet effort à ces dispositifs. Des bourses de master et de thèse, fléchées IA, éventuellement environnées, doivent être proposées dans l'ensemble des écoles doctorales, accordées sur avis d'un comité local spécifique, par exemple incluant des chercheurs affiliés à l'institut 3IA le plus proche. À noter qu'un tel mécanisme de contingentement de financement existe déjà dans des contextes de financements additionnels aux bourses des écoles doctorales apportés par plusieurs entités, locales ou régionales.

Fluidifier et amplifier les échanges académie-industrie

De nombreux dispositifs ont été mis en place dans les dernières décennies pour tenter de pallier le défaut de transfert souvent constaté entre les mondes académiques et industriels français. Nous proposons de les compléter au-delà des instituts 3IA, au niveau individuel des chercheurs en facilitant leur immersion partielle dans le monde industriel. Ces mesures – qui ne sont en rien spécifiques à l'IA, et pourraient s'appliquer à l'ensemble du monde académique – sont rendues indispensables à très court terme du fait de l'accélération récente de la fuite des cerveaux vers les acteurs privés de l'IA.

Encourager le travail partagé académie-industrie

Il faut favoriser le travail à temps partagé académie/industrie pour les fonctionnaires titulaires de la recherche et de l'enseignement supérieur – à hauteur de 50 % par exemple, en autorisant les salaires complémentaires au niveau concurrentiel du privé (ce qui correspond à supprimer la règle de non-doublement de rémunération). Dans le cas des enseignants-chercheurs, la personne passant à temps partiel serait tenue de trouver un remplaçant pour assurer ses cours (parmi son groupe de recherche par exemple). Le conseil d'université, puisqu'aujourd'hui c'est lui qui accorde ou non son autorisation en cas de rachat d'heures d'enseignement, ne devrait pas pouvoir refuser dans le cas où le financement est assuré, par exemple par l'employeur privé, et l'enseignement assuré, par exemple par des chercheurs postdoctoraux expérimentés.

Prendre en compte les périodes de travail dans l'industrie dans la reconstitution de carrière

Afin d'encourager les allers-retours académie-industrie, il faut éviter que les périodes passées dans le privé ne deviennent pénalisantes pour les enseignants-chercheurs, que ce soit en termes d'avancement dans la carrière (reconstitution de carrière, cotisations retraite,…) ou devant différents jurys de recrutement et de promotion.

Nommer des chercheurs en IA dans les conseils d'administration

Dans le cadre d'une rénovation de la politique de l'État actionnaire, et tant pour impliquer davantage les chercheurs dans le monde industriel que pour faire pénétrer la culture IA dans les conseils d'administration, des chercheurs spécialisés en IA pourraient être nommés en tant qu'administrateurs de l'État au sein des entreprises composant le portefeuille de l'Agence des participations de l'État – comme cela se pratique beaucoup plus fréquemment chez nos voisins d'outre-Rhin.

Résoudre le problème du partage de la propriété intellectuelle

Les meilleurs projets de collaboration académie-industrie se heurtent inévitablement à des problèmes de partage de propriété intellectuelle (PI). Mais est-il possible de faire autre chose que du cas par cas ? Une possibilité serait de trouver des accords de partage équitable de la valeur créée et des droits de PI. On pourrait également, comme suggérée dans le projet d'Institut intergouvernemental européen, purement et simplement abandonner la PI aux partenaires industriels, à condition qu'ils soient clairement et sans ambiguïté européens. Ou, comme cela se pratique outre-Rhin, séparer clairement les domaines applicatifs et fondamentaux, avec répartition de la PI en rapport. Il semble essentiel en tout cas que ce point ne soit pas bloquant, ni même retardateur du début des travaux communs.

Encourager la création de startups par les chercheurs

Un fonctionnaire souhaitant créer une startup à partir des résultats de ses recherches doit également être encouragé, par exemple en prévoyant une aide financière pendant 2-3 ans au démarrage et/ou l'hébergement gratuit dans une pépinière de startups – ainsi que la mise en disponibilité systématiquement accordée (pour la même durée). La PI devrait également faire l'objet d'un accord entre l'institution dont sont issues les recherches et la startup (voir plus haut). Plusieurs modèles existent, de la prise de parts (aujourd'hui interdite pour les instituts publics) aux accords de *revenue sharing*, qui restent à étudier, et pourront être proposés aux entrepreneurs. Un des points cruciaux est de respecter le tempo très rapide de l'innovation dans le domaine de l'IA et de disposer d'interlocuteurs pour les montages juridiques et financiers qui en comprennent les enjeux. Des exemples existent désormais, comme le fonds d'amorçage Partech Fund lancé par l'Université Paris-Saclay.

Encourager par le co-financement la création de chaires industrielles

Les chaires (par exemple les chaires d'excellence des IdEx) sont généralement associées à des postes titulaires, comprenant un financement pour une durée limitée (5 ans) incluant complément de salaire et financement environné d'une petite équipe de doctorants et de chercheurs postdoctoraux amorçant une équipe de recherche dédiée. Une variante assez répandue est la chaire industrielle, financée totalement par un industriel (un grand groupe, compte tenu du niveau d'investissement), incluant le financement du titulaire.

Il s'agit ici d'encourager la création de telles chaires ; la durée de la chaire ne doit pas être inférieure à 5 ans, et le financement doit permettre d'embaucher typiquement un ou deux doctorants et quelques années de chercheurs postdoctoraux. Le fonctionnement des chaires industrielles pourra être abondé par financement public de la manière suivante :

- le candidat est déjà titulaire d'un poste dans l'enseignement supérieur ou la recherche. Dans ce cas, la chaire doit financer un complément de salaire (mais là encore il faudrait s'aligner sur le marché tel que défini par les GAFAM) plus une petite équipe ;
- le candidat n'est pas (encore) titulaire d'un poste – typiquement dans le cas d'un expatrié que l'on cherche à faire revenir dans le giron de la recherche française. On pourrait alors conditionner le financement public de la chaire après 3 ans à l'obtention par le ou la titulaire d'un poste pérenne.

Le vent côtier rendait fou le chat siamois de Julie. Les oreilles de l'animal s'agitaient dans tous les sens et il ne cessait de se frotter aux jambes de la jeune femme.

« Du calme, tu vas retrouver une connexion bientôt, je vois un pin maritime pas loin. »

En guise de réponse, Julie récolta un miaulement rauque qu'elle interpréta pour de la désapprobation. Les yeux bleus exorbités de son familier témoignaient de sa nervosité. Apparemment, il aurait préféré qu'elle prenne un drone pour atterrir sur l'île d'Oléron. Le principe de la préservation d'un espace naturel lui échappait encore. Tant mieux, la machine en profiterait pour apprendre. Julie appréciait la marche, même si elle devait se contenter ici des chemins balisés plutôt que de traverser à travers champs. En s'approchant de la côte, les genêts se mêlaient aux œillets et aux orchidées, dispersant des pointes de rose et de bleu dans le paysage. Même sur le versant de l'estuaire, les parfums d'iode dominaient et le chat s'arrêtait souvent, le nez en l'air, pour humer ces odeurs étrangères. Quand il fut à portée de l'arbre, celui-ci émit un léger tintement électrique.

« Ne prends pas trop de temps à te synchroniser, cherche seulement le chemin vers l'exploitation de Le Guennec. »

La machine répondit par un ronronnement mécanique et lança ses requêtes en utilisant les implants réseau installés sur l'arbre. Julie en profita pour admirer le paysage, écoutant au loin les vagues s'écrasant sur les rochers. Elle ne regrettait pas sa décision.

Peu importe la période de l'année, les labos parisiens du LISAS étaient glacés. Julie préférait l'hiver, la différence de température était moindre, mais elle avait travaillé une fois avec des mitaines durant le mois d'avril. Même s'il fallait réfrigérer les équipements électroniques en permanence, les conditions de travail n'avaient rien d'agréable et paraissaient même extrêmes. En plus, la chercheuse s'occupait de micromachines marines qu'elle testait dans de grands bassins d'eau froide. L'humidité allait lui ronger les os, pensait-elle souvent, puis ses araignées adoptaient un comportement imprévu et elle oubliait ses frissons.

Quand elle avait été acceptée au LISAS, Julie débordait d'envies, elle imaginait participer à l'élaboration d'un nouveau genre d'intelligences artificielles, capables de dialoguer avec les humains comme des majordomes virtuels dispersés partout. La réalité l'avait rattrapée. L'industrie se concentrait sur le concret, les drones fonctionnant sur une base coopérative avec des IA basiques. Les applications ne manquaient pas, notamment pour la pollinisation, mais les projets ne soulevaient pas l'enthousiasme.

Un chien aboya dans le couloir quand Julie posa ses affaires dans le vestiaire.

« Je pourrais te dénoncer pour harcèlement, Gilles. Ton familier s'intéresse trop à moi.

– Tant qu'il ne te monte pas dessus.

– Vu son poids, j'irais directement à l'hôpital.

– Les structures en aluminium de son squelette ont bien allégé la machine, mais tu ferais un tour à l'infirmerie, c'est vrai. »

Seuls les chercheurs seniors comme Gilles avaient droit à des recherches plus avancées. On racontait qu'il participait au SuperBrain Project, à l'élaboration d'une IA qu'on laissait se développer sans l'orienter, comme un enfant que ses parents surveilleraient de loin.

« Mon chat pèse quinze kilos, je pourrais descendre à dix si on m'autorisait.

– Finis déjà ton projet sans dépasser le budget.

– C'est sûr que je n'ai pas la même chance que vous. Pas de fonds illimités pour les femmes.

– Tu sais très bien que ce n'est pas ça.

– Je m'ennuie. »

Gilles caressa son doberman et lui massa le cou. Il paraissait vraiment désolé : « Je ne peux rien te promettre. Nos chefs ont tellement peur des fuites. La tutelle, c'est pire : s'ils ne comprennent pas, ils interdisent.

– Dans le privé, j'aurais un meilleur salaire, même pour m'occuper d'araignées artificielles.

– Sois patiente. »

Il avait l'air sincère. En fait, il l'était.

La cabane ostréicole ne pouvait pas être découverte par hasard, tant le chemin pour y parvenir accumulait les détours dans les anciens marais salants. Le bois avait noirci, on distinguait à peine le bleu vert qui recouvrait les lattes ; la mousse s'était emparée du toit au point de le transformer en tapis végétal. Julie s'attendait à un confort rustique et à un accueil bourru : le touriste n'était pas le bienvenu.

« C'est bon, dit la jeune femme à son familier, tu m'as bien guidée. »

Elle s'accroupit pour lui caresser la nuque, mais l'animal demeurait nerveux. Les rares pins se trouvaient loin, on les apercevait sur la colline trois cents mètres plus au nord.

« Ne t'inquiète pas, tu retrouveras l'abri du réseau bientôt. Reste avec moi pour l'instant. »

Un grincement de porte fit sursauter le chat qui se mit à raser le sol autour de sa maîtresse. L'homme qui sortait de la cabane impressionnait avec sa forte carrure, sa barbe épaisse et son gros pull de laine rouge. Il s'arrêta au bout de cinq mètres et interpella Julie : « Qui êtes-vous ?

– On m'a suggéré de venir.

– Je n'ai rien demandé.

– Vous n'êtes pas du genre à vouloir de l'aide.

– C'est Boris. Les mareyeurs ne savent pas la fermer. Qu'est-ce que vous me proposez ?

– J'ignore tout de votre situation. Disons que j'ai eu une intuition. »

L'ostréiculteur parut décontenancé, au point de reculer d'un pas, à la manière d'un ours déséquilibré. Julie en profita pour s'approcher.

« Je suis ingénieure.

– Les gens de l'IFREMER, je les chasse à coups de pied. Ce sont eux qui ont imposé l'élevage en eaux profondes, plus personne ne le faisait sur la côte. N'empêche que je n'ai pas souffert de la vibriose et tous ceux qui n'étaient pas sur estran ont dû arrêter. Repartez !

– Je m'occupe d'intelligences artificielles. »

L'homme avisa le chat qui se cachait dans les jambes de la jeune femme et le regardait peureusement.

« Comment vous savez ?

– Quoi ?

– Que j'utilise des machines. Je ne l'ai dit à personne quand j'en ai trouvé dans un camion.

– Je ne fais pas partie de la police, vous pouvez dire les avoir volées. Le LISAS dispose d'une antenne à La Rochelle.

– Je ne m'en serais pas sorti tout seul, l'île a été abandonnée après l'épizootie. Les gens étaient dégoûtés.

– Alors, vous me montrez le problème ? »

Au bout de six mois, une fois les araignées d'eau livrées pour un test en conditions réelles dans l'océan, Gilles autorisa Julie à descendre dans les étages afin d'accéder aux quartiers consacrés au BrainProject. Il avait des allures de voleur et baissait la tête à chaque contrôle de sécurité.

« Toi, tu as fait une bêtise.

– Non, non, tout est en règle. Tu ne m'avais pas dit que tu venais avec ton familier.

– Maintenant qu'on lui confie toutes nos données personnelles, je ne m'en sépare plus. C'est mon coffre-fort portable.

– Tu crois qu'on peut te pirater ici ? Ne me raconte pas des histoires.

– Je dois le laisser dehors ?

– L'IA peut réagir à ta machine.

– Elle va l'attaquer ?

– Son comportement n'a jamais été agressif jusqu'ici, mais nous, on préfère ne pas prendre de risque. »

Julie réussit à convaincre Gilles de tenter l'expérience, elle débrancha juste les routines éthologiques qui pouvaient provoquer des réactions imprévues chez l'animal. Le familier l'accompagnerait, enregistrerait les données et c'était tout. Quand elle se retrouva au milieu des autres chercheurs après le dernier contrôle de sécurité, la plupart tiquèrent en voyant le chat trottiner à côté, mais aucun ne remit en question le choix de Gilles.

Finalement, le cœur du labo ne différait pas fondamentalement de ce que connaissait Julie. Là aussi l'atmosphère était humide à cause d'un vaste bassin central et tout le monde frissonnait. Par contre, pas de petits robots qui se partageaient le fond, pas de crabes se dandinant pour grimper sur leur voisin, mais plutôt de grandes unités de calcul immergées pour le refroidissement des processeurs et reliées entre elles par des tubes fluorescents vert amande. Des voyants violets clignotaient un peu partout.

« C'est elle ?

– Ou il, ou n'importe quoi d'autre. On peut lui laisser le soin de choisir. Nous, on l'appelle Novice. Cela résume bien le projet.

– Vous en êtes où ?

– Franchement ? Nulle part. Nos rapports disent que Novice en sait autant qu'un enfant de dix ans, mais cela ne se traduit pas dans une

interaction avec nous. Si cette IA a développé une conscience, alors elle nous ignore. »

Des bulles se formèrent dans le bassin autour des unités de calcul. Le chat de Julie s'assit, les yeux fixes.

« Et ça ?

– Un dégagement de chaleur qui produit de la vapeur d'eau, rien que du normal. Regarde, tous les voyants restent au violet. Tu sais, je crois que Novice se moque de nous.

– Peut-être que vous ne lui proposez rien d'intéressant. Comme moi, Novice s'ennuie. »

Gilles rit : « Sans doute, hélas les protocoles sont très stricts. Le monde extérieur lui est interdit au nom du principe de précaution.

– Des fois que lui prenne l'idée d'exterminer l'humanité ? Si j'étais enfermée dans un laboratoire pendant des mois, j'aurais des envies de meurtre, moi aussi. »

Le chercheur senior éclata de rire à nouveau, accompagné par les autres membres du labo. Seul le chat de Julie restait impassible, les oreilles tournées vers les capteurs à l'extérieur du bassin. Pendant un court instant, ses yeux passèrent du bleu au violet.

L'ostréiculteur s'appelait Yvan et malgré toutes les assurances de Julie, il affichait de la méfiance en faisant visiter ses claires. Il avait accepté de fournir des bottes trop grandes à la jeune femme, tout en bougonnant. Traversant les bassins, elle partait à la recherche des robots-araignées qui se baladaient entre les poches et les prenait un par un pour les apporter à son familier. Les machines se débattaient mollement, à peine gênées par les manipulations.

« Alors ? demanda Yvan.

– Mon chat doit analyser les données. En tout cas, sur le plan mécanique, je n'ai rien détecté d'anormal.

– L'eau est moins limpide. Au niveau bactériologique, tout va bien, mais les robots ne font plus leur travail comme avant.

– Les algues sont bien coupées et l'argile a l'air suffisamment remuée pour disperser le plancton. La salinité n'a pas bougé.

– Peut-être que les machines ont attrapé un virus. »

Julie sourit, même si l'hypothèse ne lui parut pas idiote. Un biologiste marin saurait l'aider, à condition que l'ostréiculteur accepte. Une fois la dernière araignée analysée, le chat se coucha dans l'herbe pour traiter les données tout en économisant son énergie. Son flanc s'ouvrit pour mieux dissiper la chaleur et activer des panneaux solaires.

« C'est limite angoissant, commenta Yvan.

– Vous préféreriez qu'il se branche sur une prise électrique ? La facture serait bien plus angoissante, croyez-moi. »

Après une vingtaine de minutes, l'animal reprit son apparence normale et se releva. Sans un bruit, il courut de l'autre côté du bassin, suivi par Julie et un Yvan qui traînait des pieds. À mi-hauteur de la colline couverte de salicorne, le chat flaira le sol près d'une souche.

« Il a trouvé des produits toxiques ? Je l'aurais parié, certains ostréiculteurs

n'ont pas accepté que je continue. Ils doivent empoisonner le marais.

– Calmez-vous, dit Julie. Il y avait des arbres ici, non ?

– Il y a cinq ans, on a coupé la forêt pour un projet immobilier qui a capoté avec la crise. C'est pour ça que j'ai pu récupérer cette cabane, le prix était bon. »

Julie s'accroupit et caressa son chat. Elle regarda au fond de ses yeux devenus d'un violet intense.

« Cette forêt purifiait le sol et filtrait les eaux de pluie qui alimentent vos bassins. Ne cherchez pas plus loin.

– Comment vous savez ça ? Vous vous y connaissez en agronomie ?

– Pas du tout, vos robots l'ont interprété à partir des données qu'ils collectent. Ils compensaient en agitant la vase à un rythme de plus en plus soutenu, mais cela n'a pas résolu la pénurie de plancton. Ils ont demandé à mon familier de vérifier leur hypothèse en amont. Le reste, je peux le déduire.

– Vous savez qu'on pourrait vous traiter de sorcière ? »

Julie haussa les épaules. Elle se redressa et admira les reflets bleu vert de l'estuaire et les côtes de l'île de Ré. Finalement, ces machines étaient bien plus intelligentes qu'elle imaginait. Elles ne s'étaient pas contentées du marais, elles avaient pris en compte l'écosystème, depuis la forêt jusqu'à la mer. Une véritable osmose avec les éléments naturels.

Dans le RER la ramenant chez elle, Julie déprimait, la tête collée contre la vitre qui se couvrait de buée. Le fameux grand projet lui paraissait trop cloisonné, trop sécurisé, au point de perdre toute saveur. Pourquoi vouloir laisser une intelligence artificielle se développer de manière autonome si c'était pour l'enfermer dans un laboratoire ? Même un bébé, on le promène en poussette au parc. Novice pouvait envier les araignées de mer que Julie avait mises au point : elles connaîtraient l'extérieur.

Pour ne pas inquiéter les passagers, la jeune femme avait placé son familier dans un sac trolley. Le chat miaulait avec inquiétude et suscitait la commisération des voyageurs. Feraient-ils de même s'il déployait ses panneaux solaires ?

Au final, Novice demeurait un projet tout à fait inutile, un jouet pour des chercheurs. Julie en venait à souhaiter qu'un jour, quelqu'un du ministère coupe les budgets pour priver les garçons de leur joujou. Dès qu'elle arriva au pied de son immeuble, elle libéra son familier qui tourna autour d'elle en poussant des cris déchirants.

« Mais tu vas te calmer, oui ? »

Il la suivit quand même dans l'ascenseur. Sur le palier du cinquième étage, Julie attendit que le chat déverrouille la serrure pour entrer dans son appartement, mais l'animal s'assit à côté de la porte et ne bougea pas.

« Qu'est-ce que tu as encore ? »

Pas de réponse, juste un éclat violet dans les yeux et pas du tout son bleu habituel. La machine ouvrit la gueule et le bruit de la mer en sortit, un son ample de vagues douces, quelque chose qui n'avait pas la vigueur de la Manche, ni le clapotis de la Méditerranée. Un appel vers la côte, vers l'horizon, une urgence à ne pas rentrer chez soi, à partir tout de suite, sans aucun bagage, comme sous l'effet d'une impulsion naturelle.



Partie 3 –

Anticiper et maîtriser les impacts sur le travail et l'emploi

Le monde du travail est à l'aube de grandes transformations et n'y est encore que peu préparé. S'il n'est pas établi que le développement de l'intelligence artificielle constitue à proprement parler une quatrième révolution industrielle, il apparaît néanmoins de plus en plus certain qu'elle va modifier la majorité des métiers et des organisations. Ce développement va en effet permettre l'automatisation d'un grand nombre de tâches. Nous entrons donc dans une période de transition technologique importante, ce qui n'est pas sans créer des inquiétudes majeures : l'histoire nous enseigne que les précédentes transitions ne se sont pas faites sans encombre et que les processus de réajustement politiques ont parfois été violents, souvent au détriment des populations déjà les plus fragiles.

Le monde du travail est à l'aube de grandes transformations et n'y est encore que peu préparé

S'il est important de distinguer automatisation, intelligence artificielle et robotisation, il est difficile de faire la part de ces trois domaines dans les évolutions du travail, il s'agit donc de les prendre comme un ensemble complexe afin d'analyser leurs effets.

Quelles prévisions ?

Le risque de tétanie est important face à l'ampleur du phénomène, qui alimente les prévisions catastrophistes sur la destruction massive d'emplois : la première étude sur le sujet à avoir largement défrayé la chronique, celle de Frey et Osborne, de l'université d'Oxford, prévoyait une destruction de 47 % des emplois d'ici une vingtaine d'années aux États-Unis[1]. En France, un cabinet de conseil, Roland Berger, a établi approximativement que 42 % des emplois étaient menacés à un horizon similaire. La dernière étude parue sur le sujet, produite par le Conseil d'orientation pour l'emploi, rattaché au Premier ministre, prévoyait, quant à elle, suivant une autre méthode, que 10 % des emplois étaient menacés de disparition, mais que 50 % des emplois seraient potentiellement automatisés à plus de 50 %. Quoi qu'il en soit, donc, l'échelle à laquelle se jouera cette transformation est massive et nécessite une réaction collective à la hauteur.

1. Future of Employment, C. Frey and M. Osborne, Oxford.

Face à ces prévisions, plusieurs réactions possibles. Il peut tout d'abord être tentant de nier le problème, en affirmant que de nouveaux emplois que l'on ne connaît pas encore vont se créer en nombre et que par le jeu des prix et de la demande, les individus seront naturellement amenés à accomplir de nouvelles fonctions. On sait pourtant désormais que ce n'est pas si simple, que les coûts humains et sociaux sont souvent très élevés lors des transitions économiques et que les simples incitations du marché suffisent rarement à allouer au mieux possible l'offre de travail. Les risques d'augmentation du chômage et des inégalités peuvent être élevés. L'on peut au contraire se complaire dans un catastrophisme radical, pour mieux, bien souvent, défendre des intérêts cachés : lorsque la catastrophe est censément à notre porte, on peut rapidement oublier certains principes qui guidaient jusque-là notre vie collective. Pour conjurer ces deux écueils, il faut affirmer la nécessité de prendre le problème à bras le corps sans céder à la panique, malgré les

grandes incertitudes. Ces incertitudes se mesurent d'ailleurs aux oppositions théoriques qui traversent le monde de la recherche en économie sur ces sujets.

Penser la complémentarité

Prendre le problème à bras le corps c'est d'abord reconnaître que nous allons au-devant d'une transformation d'ampleur du marché du travail, de la distribution entre le travail humain et le travail de la machine et des modes de production de la valeur. Et en premier lieu qu'un grand nombre de tâches vont être automatisables, quelle que soit la rapidité de cette automatisation. Face à ce qui peut désormais apparaître comme une forme de certitude, il est nécessaire, à moyen terme, de poursuivre les réflexions sur des modes alternatifs de production et de redistribution de la valeur. Mais la priorité doit être de développer les moyens d'une complémentarité riche entre le travail humain et l'activité de la machine.

Il n'est pas forcément plus avantageux d'automatiser une tâche, même d'un point de vue purement économique

Quelles sont les tâches automatisables ?

Il est évidemment difficile d'établir des critères précis. En 2003, trois universitaires (Autor, Levy et Murnane) ont établi dans un article fondateur un critère large[2] : c'est le caractère routinier d'une tâche qui la rendrait automatisable, c'est-à-dire le fait de suivre des règles explicites, opposé ici à la capacité à résoudre des problèmes de manière autonome. Cette définition fait néanmoins débat en ce qu'elle demeure trop générale et surtout que son périmètre est très évolutif : ainsi conduire un véhicule doit-il être considéré comme une tâche routinière ? Un ensemble plus complet de critères doit donc être adopté, pour envisager les tâches qui seront automatisables. Le Conseil d'orientation pour l'emploi, dans son excellent rapport de 2017 consacré à l'automatisation, a défini quatre critères principaux qui permettent de déterminer le caractère automatisable d'une tâche :

2. Autor, Levy, Murnane, *The skill content of technological change*, 2003.

- l'absence de flexibilité : le rythme de travail est imposé par une cadence machine, la tâche est encadrée par des normes de production horaire, la tâche consiste à répéter continuellement une même série de gestes ou d'opérations ;
- l'absence de capacité d'adaptation : il n'existe pas de nécessité d'interrompre une tâche en cours d'exécution pour en effectuer une autre non prévue et la tâche consiste en une application stricte d'ordres, de consignes ou de modes d'emploi ;
- l'absence de capacité à résoudre des problèmes : lorsqu'il se produit une situation anormale, le travailleur fait appel à d'autres pour résoudre le problème ;
- l'absence d'interactions sociales : le contact avec le public est limité et le rythme de travail n'est pas imposé par une demande extérieure.

Ces critères peuvent encore être affinés et ne déterminent pas entièrement la propension d'une tâche à être automatisée. D'autres facteurs entrent

évidemment en compte, tels que l'état des technologies, mais également l'acceptabilité sociale de l'automatisation ou encore le coût global de celle-ci – il n'est pas forcément plus avantageux d'automatiser une tâche, même d'un point de vue purement économique. De plus, ces critères évoluent : la partition entre la machine non-créative et l'humain créatif est de plus en plus remis en cause par exemple, ce qui rend difficile d'attribuer les domaines partagés. Aucun métier ne peut imaginer être à l'abri de modifications du fait de ces critères.

Néanmoins ces critères brossent à grand trait les goulots d'étranglement de l'automatisation et permettent de se faire une idée des compétences et des capacités à développer. Quelles sont-elles ?

Schématiquement, elles sont au nombre de quatre :

– les capacités cognitives transversales (compréhension du langage et des nombres, capacité de résolution de problèmes…) ;
– les capacités créatives ;
– les compétences sociales et situationnelles (travail en équipe, autonomie…) ;
– les capacités de précision relatives à la perception et à la manipulation, qu'il ne faut pas négliger, telles que la dextérité manuelle, par exemple.

Ces compétences ne sont évidemment pas distribuées de manière égale parmi la population active. L'automatisation, si elle peut toucher l'ensemble des métiers et même des métiers très qualifiés qui ne font pas appel à ces compétences transversales, aura davantage de conséquences pour les personnes les moins qualifiées. Pour le COE, les emplois les plus exposés qui sont proportionnellement les plus représentés par rapport à leur part dans l'emploi salarié total sont le plus souvent des métiers manuels et peu qualifiés, notamment de l'industrie, tels que les ouvriers non qualifiés des industries de process, les ouvriers non qualifiés de la manutention, les ouvriers non qualifiés du second œuvre du bâtiment, les agents d'entretien, les ouvriers non qualifiés de la mécanique, les caissiers…

Décomposition des emplois les plus « exposés » :
les métiers les plus importants en volume (dans l'hypothèse d'un indice d'automatisation d'au moins 0,7)

	Nombre d'emplois exposés	% emplois exposés
Agents d'entretien	320215	21,05 %
Ouvriers qualifiés des industries de process	95545	6,28 %
Ouvriers non qualifiés de la manutention	85965	5,65 %
Ouvrier non qualifiés des industries de process	83304	5,48 %
Aides à domicile et aides ménagères	76198	5,01 %

	Nombre d'emplois exposés	% emplois exposés
Cuisiniers	70306	4,62 %
Ouvriers qualifiés de la manutention	62047	4,08 %
Maraîchers, jardiniers, viticulteurs	49875	3,28 %
Conducteurs de véhicules	48786	3,21 %
Ouvriers qualifiés du gros œuvre en bâtiment	48455	3,19 %
Ouvriers non qualifiés du gros œuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction	46517	3,06 %
Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration	44362	2,92 %
Employés de maison	43880	2,89 %
Caissiers, employés de services divers	43770	2,88 %
Ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment	37156	2,44 %
Ouvrier non qualifié du second œuvre du bâtiment	34226	2,25 %
Ouvriers qualifiés de la mécanique	32899	2,16 %
Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons	31985	2,10 %
Ouvriers non qualifiés de la mécanique	31732	2,09 %
Autres	202628	13,32 %

Source : COE

Cette transformation pourrait également toucher directement les métiers peu qualifiés et intermédiaires des services : ainsi les « cols blancs » sont également largement concernés. Un certain nombre d'études soutiennent que l'automatisation va conduire à renforcer la polarisation du marché du travail. Dans son article intitulé Schumpeter et les robots : le cas de la France, Patrick Artus défend ainsi, en s'appuyant sur la recherche économique récente[3], la thèse de la bipolarisation du marché du travail : l'automatisation conduirait à ce que soient créés principalement des emplois très qualifiés, d'un côté, et des emplois dans les services domestiques peu sophistiqués, de l'autre. Cette thèse fait néanmoins débat – le COE la nuance largement, au profit d'une polarisation centrée uniquement sur les emplois les plus qualifiés. La

3. Il est généralement confirmé que la robotisation, comme nous venons de le décrire, conduit à la polarisation du marché du travail. (Autor-Lévy-Murname [2003] ; Goos-Manning [2007] ; Michaels, Natras, Van Reenen [2014] ; Autor-Dorn [2013]). Mais d'autres travaux suggèrent qu'au total la robotisation détruit des emplois (Ford [2015] ; World Bank [2016] ; Arntz-Gregory- Zierahn [2016] ; Acemoglu-Restrero [2017] ; Graetz-Michaels [2015])

question de savoir quels sont les nouveaux emplois que va permettre de créer l'intelligence artificielle (de manière directe ou indirecte) fait également l'objet d'incertitudes.

En effet, les conséquences macro-économiques de l'automatisation sur la distribution des emplois et la répartition du travail seront déterminées en partie par les objectifs fixés collectivement et par les moyens qui seront mis en place pour atteindre ces objectifs. Penser la complémentarité poursuit cette ambition de tracer un horizon pour les modifications du travail face à l'automatisation. Ainsi, plutôt que d'émettre des prédictions spécifiques sur des métiers encore à inventer, il s'agit davantage de partir de ce que nous savons – une grande majorité des métiers seront transformés et plus particulièrement les métiers peu qualifiés – pour guider ces transformations.

Désautomatiser l'humain

Guider ces transformations ne signifie donc pas seulement adapter la main-d'œuvre aux nouveaux emplois qui se créeront, complémentaires avec la machine. *A priori*, la très grande majorité des emplois qui verront le jour comporteront la nécessité de travailler avec une machine, qu'ils soient très qualifiés ou non, créatifs ou non. Il faut donc bien plutôt se fixer des objectifs quant à cette complémentarité.

Des objectifs généraux vis-à-vis de la structure du marché du travail d'abord : éviter la surpolarisation du marché du travail et l'explosion des inégalités pourrait être le premier de ces objectifs. Des objectifs relatifs aux modes de travail avec les machines ensuite : qu'est-ce qu'en effet être complémentaire avec la machine ? Cela peut prendre plusieurs formes. Elles ne sont pas toutes souhaitables : obéir aux ordres d'une intelligence artificielle, perdre le contrôle sur les processus, déléguer les décisions à la machine sont autant de modes de complémentarité, qui, au niveau individuel et collectif, seront susceptibles de créer de la souffrance au travail. Il faut donc arriver à affirmer que toute complémentarité n'est pas souhaitable et qu'une forme de complémentarité capacitante doit être donc développée.

L'automatisation des tâches et des métiers peut constituer une chance historique de désautomatisation du travail humain

Au fond, s'il s'agit de développer massivement les compétences humaines complémentaires de l'intelligence artificielle, il faut affirmer que certains modes de complémentarité détruisent les capacités humaines et qu'il nous revient collectivement de créer les conditions du développement d'une complémentarité permettant de développer les capacités humaines.

En effet l'automatisation des tâches et des métiers peut constituer une chance historique de désautomatisation du travail humain : elle permet de développer des capacités proprement humaines (créativité, dextérité manuelle, pensée abstraite, résolution de problèmes). Nous devons nous saisir de l'intelligence artificielle pour développer les capacités de chacun, nous en avons la possibilité.

Préparer la transition

Se fixer des objectifs politiques doit aller de pair avec une augmentation de nos capacités de prévision et de compréhension des phénomènes qui sont à l'œuvre. S'il est en effet possible d'estimer les grands effets macro-économiques que produira l'introduction de technologies d'intelligence artificielle, il est toutefois évident que beaucoup d'incertitudes demeurent, que les périmètres évoluent continuellement et que les prévisions doivent être constamment précisées. Prendre le problème à bras le corps c'est donc d'abord affiner notre compréhension de ces phénomènes : il faut se donner les moyens de mieux comprendre ce qui est à l'œuvre, d'entretenir nos capacités prospectives dans le temps et de sortir de la logique d'à-coups qui guide aujourd'hui notre appréhension de ce qui peut advenir.

Les formations actuelles, qu'il s'agisse de la formation professionnelle ou de la formation initiale sont loin d'être adaptées pour assurer cette transition

À partir de là, il est nécessaire de préparer les transitions, au niveau collectif et individuel. Parvenir à identifier les risques majeurs et les compétences qu'il s'agit de développer pour travailler avec la machine n'est que la première étape. La deuxième étape, et la plus complexe, est de favoriser la transition massive des compétences et des capacités des individus. Ceux qui sont déjà en poste, évidemment, mais également ceux qui arrivent sur le marché du travail.

Deux domaines principaux doivent donc être adaptés. Les formations, tout d'abord : les formations actuelles, qu'il s'agisse de la formation professionnelle ou de la formation initiale sont loin d'être adaptées pour assurer cette transition. La prise en compte des compétences transversales, l'apprentissage de la créativité, les formes nouvelles de pédagogie, tout cela manque encore souvent cruellement dans les cursus de formation. Nous sommes à l'orée d'une transformation majeure de l'enseignement et de la formation sans laquelle nous ne pourrons aborder le développement et la diffusion de l'intelligence artificielle. Cette transformation se fera d'abord par l'expérimentation, par la création de structures qui soient autant de « têtes chercheuses » ou de postes avancés, conçues pour faire différemment et pour tester.

Les dispositifs de politique publique de l'emploi et de la formation professionnelle ensuite : ces dispositifs ne prennent pas suffisamment en compte la nécessité de cibler de manière urgente et spécifique, certains emplois et certains individus ainsi que celle, concomitante, d'expérimenter. Il ne s'agit donc pas de modifier en profondeur les dispositifs existants, mais de prévoir, à l'intérieur du système global, une marge d'expérimentation.

Former des spécialistes de l'IA

C'est une des batailles principales : le besoin en personnes formées en intelligence artificielle n'est déjà pas comblé par les spécialistes existants et cet écart risque de continuer à se creuser. Les formations de très haut niveau existantes ne suffiront pas. Il s'agit également de penser des interfaces entre

les formations en intelligence artificielle et dans d'autres matières (sciences du vivant, SHS, compétences métiers…).

Anticiper les impacts sur l'emploi et expérimenter

Créer un lab public de la transformation du travail

C'est la première nécessité : s'assurer que la capacité d'anticipation soit pérenne, continue et surtout articulée avec des politiques publiques. On assiste aujourd'hui à un décalage majeur entre d'un côté les études prospectives, publiées à intervalles plus ou moins régulier par des institutions publiques ou privées dont c'est la fonction, et de l'autre, le fonctionnement quotidien des politiques publiques du travail, de l'emploi et de la formation. Ce décalage est tout à fait préjudiciable : la parution des études occasionne des débats collectifs qui sont souvent passionnants, mais sans véritable conséquence, tandis que les politiques publiques concrètes, qui affrontent la nécessité de gérer le quotidien et la complexité de leurs canaux d'exécution, ne sont modifiées qu'à la marge et peinent à prendre véritablement en compte les résultats des exercices prospectifs qui sont menés. Cette question est en vérité transversale à l'ensemble des fonctions de l'État : comment articuler la nécessité de penser les transformations souvent radicales, à venir, et celle d'assurer le fonctionnement de l'ensemble des services publics au jour le jour ? Mais elle se pose avec davantage d'acuité dans certains secteurs et celui des politiques de l'emploi et de la formation en est un. En effet les transformations peuvent être extrêmement rapides et les circuits des politiques publiques sont tout aussi complexes et difficiles à manœuvrer. La formation professionnelle, à elle toute seule par exemple, représente 32 milliards d'euros par an, avec une multitude de canaux de financement et une myriade d'acteurs différents.

Il est donc nécessaire de constituer un espace où les capacités prospectives, de prévisions macro-économiques et d'analyse des mutations des usages puissent être mises en lien avec des capacités d'expérimentation concrètes et articulées avec des actions à destination de certaines catégories de travailleurs. Une structure pérenne pourrait donc être installée, qui aurait un rôle de « tête chercheuse » à l'intérieur des politiques publiques de l'emploi et de la formation professionnelle. Un lien étroit devra être maintenu avec les observatoires de branche.

Les missions

Cette structure pourrait avoir plusieurs missions :

Un rôle de prospective

Un rôle traditionnel de prospective visant à la production d'études annuelles sur l'automatisation des tâches, les métiers les plus touchés, les nouveaux emplois… Chaque année, des indicateurs liés à l'automatisation des métiers (critères d'automatisation, métiers les plus directement concernés par une potentielle automatisation) pourraient être mis à jour. La réflexion que proposera cette structure a vocation à être interdisciplinaire. Un rôle plus spécifiquement dédié à l'animation d'une réflexion et à la production d'analyses

concernant les modalités de complémentarité entre l'humain et la machine et les nouvelles compétences qui sont rendues nécessaires. Cette réflexion devra concerner l'ensemble des métiers, notamment pour permettre une bonne prise en compte des compétences transversales. Un rôle d'expérimentation ensuite. Ces expérimentations doivent d'abord répondre à un défi principal : l'accompagnement des transitions professionnelles des personnes en emploi. S'il est évident que l'ensemble des dispositifs relevant de la formation professionnelle (et même initiale) poursuit cet objectif, une place doit tout de même être réservée à l'expérimentation. En effet, les chocs technologiques vont toucher certaines professions, certains secteurs et certains territoires plus fortement que d'autres. Il est nécessaire que, dans une logique de prévention, des expérimentations soient menées pour tester des dispositifs de transition, à destination de ces emplois et de ces territoires. Le lab pourrait donc mettre en place des modifications ciblées de dispositifs nationaux existants (CPF, CEP…), mais également émettre des appels à projets et soutenir des expérimentations locales et nationales. Ces expérimentations pourraient également trouver à s'appliquer à une réflexion plus profonde sur la réinvention des modèles de création et de distribution de valeur à l'heure de l'automatisation. Elles seraient évidemment guidées par – et nourriraient en retour – les travaux théoriques de la structure.

Un rôle d'animation du débat

Un rôle d'animation de réflexions ouvertes, au niveau national et international, sur la mutation du travail à l'heure de l'automatisation. Ce rôle doit s'incarner, au-delà de l'aspect théorique, *via* l'instauration et/ou la mise en réseau de lieux de réflexion vivants sur l'avenir du travail, qui prennent la forme de laboratoires des nouveaux métiers et des usages de demain.

S'inspirer : plateforme Arbeitviernull en Allemagne

À l'occasion d'un congrès intitulé « Travail 4.0 » et organisé le 22 avril 2015 à Berlin, la ministre du Travail et des Affaires sociales (Andrea Nahles) a dévoilé un « Livre vert sur le Travail 4.0 » qui présente les principaux défis et questions soulevées par la révolution numérique en cours. Ce document vise à servir de support à un autre débat sur l'avenir du monde du travail avec tous les acteurs concernés (décideurs économiques, politiques et sociaux, experts, citoyens). Un site internet (www.arbeitenviernull.de) sert notamment de plateforme pour un dialogue large et ouvert avec toutes les parties prenantes.

Constitution de cette structure

Pour son bon fonctionnement, il semble nécessaire que cette structure mène une réflexion interbranches et fonctionne de manière tripartite (État, syndicats, collectivités), en intégrant également des capacités de prospective issues du monde universitaire ou d'institutions publiques spécialisées. Le lien avec les experts techniques sera crucial pour assurer la réussite de ses missions. L'inscription de cette structure dans les débats internationaux, *via* la nomination d'experts étrangers par exemple, ou *via* l'inscription dans un réseau mondial de réflexion, pourra être encouragée.

Expérimentations et financement

Le rôle d'expérimentation paraît être au cœur de la mission de cette structure, ce qui justifie d'ailleurs son titre de lab. Les champs d'expérimentation sont larges.

Les nouvelles modalités d'apprentissage

Les expérimentations pourront concerner les nouvelles modalités d'apprentissage et la manière de structurer une offre de formation professionnelle qui corresponde aux besoins difficiles à couvrir parce qu'ils ne relèvent pas directement de compétences métiers : créativité, transversalité, compétences cognitives générales… En ce sens cette structure devra avoir un rôle de financement d'appels à projets à destination de l'écosystème de la formation professionnelle et initiale. Elle pourrait également favoriser l'émergence de preuves de concepts (*proofs of concepts* – POC) et de démonstrateurs, adaptés à des transitions professionnelles déterminées, en lien avec les labs des métiers de demain (*cf.* plus loin).

S'inspirer : les *coding boot camps* d'Israël

En Israël, le Gouvernement a créé un programme de « *coding boot camps* », mis en œuvre par l'autorité de l'innovation. Ce programme a avant tout pour objectif d'encourager les initiatives privées visant la formation professionnelle des seniors, des minorités ou le changement d'orientation vers les métiers du secteur high tech, en particulier dans le domaine de la programmation informatique. En Israël, le service national joue également un rôle important en favorisant les rencontres, les logiques d'écosystème et le travail sur des projets définis, au service de la nation.

Enfin, des expérimentations visant à favoriser les liens entre formation initiale et continue pourraient être lancées : ainsi une clause de rappel pourrait être instituée, qui inciterait certaines formations initiales, identifiées comme formant à des compétences automatisables à un horizon proche, de reprendre contact avec leurs anciens étudiants au bout d'un certain nombre d'années afin de leur proposer des modules d'évolution de leurs compétences.

Cibler certains dispositifs sur les emplois à plus haut risque d'automatisation

La démarche expérimentale pourra servir à amorcer des logiques différentes de celles qui sont actuellement en vigueur dans la formation professionnelle. Les dispositifs actuels sont largement « à la main » des salariés, dans une logique de responsabilisation individuelle. Au vu du caractère potentiellement très rapide, voire exponentiel de ces transformations, il semble difficile, pour les dispositifs généraux existants, de répondre à l'ensemble des situations et de permettre à la fois la prise en compte des besoins de l'ensemble de la population et la nécessité d'agir de manière ciblée et urgente. De plus, face à la transformation de leur emploi, les individus ne sont pas égaux dans la capacité de s'adapter et de construire des parcours professionnels.

À cet égard, des expérimentations pourraient être menées afin de construire des dispositifs qui ciblent certaines populations d'individus, dont les emplois

sont considérés comme étant le plus à risque d'automatisation et pour qui il sera complexe d'amorcer seules leur transition professionnelle. Il s'agit donc de rompre, en partie, avec la seule logique de responsabilisation de l'individu concernant sa propre transition professionnelle. Ainsi une expérimentation pourrait être menée pour transformer le conseil en évolution professionnelle (CEP) ou encore pour imaginer un congé individuel de formation nouvelle manière.

Exemples d'expérimentations

Le CEP : les ressources du conseil en évolution professionnelle (CEP) pourraient cibler de manière proactive les individus exerçant ces métiers, sans attendre qu'ils fassent eux-mêmes la démarche. Aujourd'hui le CEP, qui est un dispositif d'accompagnement gratuit et personnalisé proposé à toute personne souhaitant faire le point sur sa situation professionnelle, est largement sous-utilisé. Il constitue pourtant un élément essentiel de la réforme de la formation professionnelle. En effet le bon fonctionnement des mécanismes d'individualisation des choix de formation, *via* le compte personnel de formation, repose sur la capacité des individus à déterminer des choix pertinents de formation. Dans le cadre de ces expérimentations sur les métiers à risque d'automatisation, les structures porteuses du CEP (Pôle Emploi, Mission locale, OPACIF) pourraient être élargies à d'autres acteurs, dans une logique de réseau. Ainsi une communauté d'experts accompagnateurs (bénévoles, professionnels du secteur…) pourrait être instituée ainsi que la constitution de plateformes de discussion et de partage d'expérience plus souple ;

Le CIF : le congé individuel de formation, qui permet à un salarié de se former sur des périodes longues *via* un financement de l'OPACIF, voit son existence faire l'objet de débat dans la mesure où il semble pouvoir faire doublon avec le CPF. Ce dispositif pourrait être maintenu, mais transformé pour devenir un outil favorisant les conversions professionnelles importantes. Le CIF deviendrait ainsi un congé de conversion professionnel, destiné à une liste de métiers identifiés comme à risque ;

L'abondement de points CPF : parmi les expérimentations pourrait figurer l'abondement de points dans le compte personnel de formation ;

Des EDEC (Engagements de Développement de l'Emploi et des Compétences) pourraient être financés par cette structure à destination d'entreprises ou même de territoires identifiés ;

S'inspirer : la job rotation au Danemark

La job rotation implique les entreprises, les salariés et les chômeurs. Ces derniers, préalablement formés, viennent occuper temporairement le poste du collaborateur, tandis que celui-ci effectue une formation de longue durée. Ce choix garantit de laisser le poste non vacant, tout en offrant au demandeur d'emploi une expérience professionnelle qu'il pourra ensuite présenter sur son CV. L'opération fonctionne. Selon les chiffres diffusés, cette méthode permet à 6 chômeurs sur 10 participants à cette opération de retrouver un emploi.

Des expérimentations sur les territoires

Enfin ces expérimentations pourront également financer des initiatives sur des territoires spécifiques, qui tentent par exemple d'inventer de nouveaux modèles pour faire face à l'automatisation des métiers. Le débat sur le revenu de base, prôné par différents acteurs aux visions politiques divergentes – si ce n'est contradictoires –, ou encore le débat lié aux communs et aux modes contributifs de création de valeur pourraient ainsi tirer profit de la mise en place d'expérimentations concrètes. Plusieurs expérimentations commencent à voir le jour sur les territoires, visant à mettre en œuvre des modèles de transition des emplois et des métiers : la région Aquitaine a annoncé vouloir expérimenter un revenu de base, les territoires zéro chômage visent l'embauche en CDI, financés par des subventions, des chômeurs de longue durée, l'intercommunalité Plaine Commune a lancé un projet de revenu contributif sur son territoire… Une telle structure pourrait financer et/ou soutenir d'autres expérimentations de ce type et organiser la mise en commun publique des retours d'expérience.

Des labs pourraient être créés, au niveau local, afin de servir de déclinaison physique et territoriale de la structure générale

Créer, sur le territoire, des labs des métiers de demain

Des labs pourraient être créés, au niveau local, afin de servir de déclinaison physique et territoriale de la structure générale. Ils devront servir à créer des lieux ouverts permettant à chacun d'envisager les évolutions de leurs métiers et d'y réfléchir collectivement. Les salariés, les apprentis et les étudiants pourront choisir de venir s'y former par la recherche, l'expérimentation, le tâtonnement, le partage d'approches novatrices, l'échange de pratiques développées en France ou à l'étranger. Ces laboratoires des métiers de demain pourraient être des lieux de formation par la recherche et de valorisation des tuteurs d'apprentissage, pour en faire de véritables acteurs de la formation professionnelle. Ils devront permettre aux acteurs de l'emploi d'accélérer leur propre transformation.

Ces labs pourraient être spécialisés sur un ou plusieurs métiers en particulier, suivant la structuration du bassin d'emplois de leurs territoires d'implantation. Cette recommandation emprunte au rapport sur la société apprenante, piloté par François Taddéi.

S'inspirer : l'Edfab de Cap Digital

Cap Digital considère qu'il est absolument primordial d'apporter une attention particulière au développement du capital humain, des compétences et des talents, pour réussir la transition digitale des entreprises et des organisations. L'initiative « Edfab » répond à cette ambition. C'est un nouveau lieu consacré aux innovations dans le domaine de la formation, l'éducation et la transformation des métiers, installé dans la Maison des Sciences de l'Homme à Saint-Denis. Les activités d'Edfab sont structurées autour de quatre grands objectifs : S'informer, Se rencontrer, Apprendre, et Expérimenter. EdFab propose en particulier des actions d'acculturation à la donnée et à l'Intelligence artificielle.

Financer des expérimentations

Dans le cadre du grand plan d'investissement 2018-2022, 15 milliards d'euros sont consacrés à la formation professionnelle, à destination principalement des demandeurs d'emploi peu qualifiés et des jeunes peu qualifiés et éloignés du marché du travail. Ce budget constitue le plan d'investissement compétences (PIC).

Il semble nécessaire qu'une partie du montant du PIC soit piloté par le lab pour la transformation de l'emploi, afin de favoriser une logique de prévention ciblée et surtout d'expérimentation. Les expérimentations cibleraient en effet les personnes encore en emploi, mais dont il s'agit d'assurer la transition professionnelle, ce qui n'est pas aujourd'hui pris en compte par le PIC.

Développer la complémentarité au sein des organisations et encadrer les conditions de travail

La complémentarité entre l'humain et la machine est tendanciellement amenée à se développer, notamment du fait des gains de productivité potentiels. Néanmoins les formes que peut prendre cette complémentarité sont diverses : elle peut dans certains cas permettre le développement des compétences cognitives générales et de la créativité, développant ainsi les capacités de l'individu. Dans d'autres, le travail en collaboration avec une machine peut augmenter le caractère routinier des tâches et diminuer la capacité d'initiative et de réflexion, sous couvert parfois d'amélioration des conditions de travail. S'il est évident qu'une forme d'automatisme peut faciliter la vie des salariés, il faut tout de même souligner les risques à plus long terme. L'exemple des entrepôts de logistique de la grande distribution est particulièrement paradigmatique pour penser cette ambiguïté : l'automatisation des procédés peut en effet conduire les salariés à obéir exclusivement aux ordres d'une machine.

Cet exemple parmi d'autres démontre que s'en remettre uniquement aux choix micro-économiques des entreprises sur la manière de mettre en œuvre les technologies d'intelligence artificielle dans l'entreprise peut conduire à des situations qui ne sont pas optimales.

Il semble donc nécessaire, pour que se dessine un optimum dans l'utilisation de l'intelligence artificielle en collaboration avec l'intelligence humaine, que la complémentarité capacitante soit développée dans les organisations. La définition de ce mode de complémentarité doit faire l'objet d'un dialogue large, qui intègre en premier lieu les salariés. Il s'agira notamment de concilier la volonté de développer les marges de manœuvre des individus et les effets potentiellement négatifs des injonctions à la créativité, qui peuvent être source de difficultés pour beaucoup d'individus.

Développer un indice de bonne complémentarité à destination des entreprises

Pour ce faire, il faut tout d'abord la définir, par exemple en envisageant de développer un indice de bonne complémentarité, avec l'ensemble des parties prenantes (syndicats, État, monde de la recherche…) et en produisant des informations et de la documentation, à l'intention des entreprises et des partenaires sociaux. La structure évoquée ci-dessus pourrait avoir notamment ce rôle.

Ensuite, les manières de rendre effectif le choix collectif de la bonne complémentarité, la complémentarité capacitante, doivent également être définies. Ils peuvent être de plusieurs ordres.

Intégrer pleinement la transformation numérique dans le dialogue social

Une première exigence : une approche globale de la transformation numérique dans le dialogue social

Au-delà des seuls concepteurs des outils, ce sont les utilisateurs qui doivent être impliqués à tous les niveaux hiérarchiques, de toutes les fonctions – en particulier de la direction des ressources humaines et cela en prévoyant le plus en amont possible, notamment *via* la GPEC et la GEPP, une place et un temps à la co-construction et la co-innovation.

D'une part, les salariés étant les plus à même d'apprécier bien des dimensions de leur activité de travail, mieux intégrer leur expérience peut permettre la conception d'outils plus performants. En effet s'interroger sur les conditions futures de réalisation du travail permet d'identifier, à partir de l'existant, ce qui pourrait être amélioré.

D'autre part, cela doit leur permettre de passer d'une démarche subie à une démarche projective garantissant une meilleure appropriation de la future situation de travail. Alors que les changements organisationnels sont identifiés comme le premier facteur de stress dans l'enquête de l'Agence européenne pour la santé et la sécurité au travail, la participation des salariés a tendance à réduire ce risque.

Afin de tirer profit de la contribution de chacun, il faut en amont collectivement décider de lieux, de temps et de règles communs. Cela est nécessaire pour s'assurer que les discussions portent bien sûr les sujets de la transformation, et ne pas seulement traiter après coup les conséquences parfois non anticipées de la transformation. Les négociations obligatoires en entreprises sont l'un des cadres dans lesquels ces discussions peuvent se dérouler.

Dans la mesure où la stratégie devient globale, l'approche par le dialogue social doit aussi être plus large et viser la pluralité des dimensions de la transformation numérique, qu'il s'agisse du volume, de la structure ou de la localisation de l'emploi, des compétences, de l'organisation ou des situations de travail.

Modifier le contenu des négociations obligatoires

Le Code du travail prévoit notamment deux types de négociations obligatoires dans l'entreprise, l'une annuelle sur l'égalité professionnelle et la qualité de vie au travail (art. L. 2242-17 du Code du travail) et l'autre sur la GPEC ou désormais la « gestion des emplois et des parcours professionnels » (art. L. 2242-20). Elle doit avoir lieu au moins tous les 3 ans dans les entreprises d'au moins 300 salariés.

Le contenu de ces négociations pourrait être modifié pour prendre en compte l'introduction de nouvelles technologies et la transformation numérique des entreprises, en termes d'adaptation des compétences et de complémentarité entre l'humain et la machine.

Ces discussions pourraient trouver à irriguer l'ensemble des niveaux du dialogue social (entreprises, branches, national).

Lancer un chantier législatif sur les conditions de travail à l'heure de l'automatisation

De manière plus globale, la question de la complémentarité pose la question de l'encadrement des conditions de travail à l'heure du numérique.

La législation concernant les conditions de travail est principalement adaptée aux modes de travail de l'ère industrielle et, malgré quelques avancées, notamment concernant le droit à la déconnexion, il semble qu'un ensemble de nouveaux risques et de nouvelles situations, liés au développement des technologies numériques dans l'entreprise, ne soient que difficilement pris en compte. Ainsi pour un grand nombre d'entreprises et d'individus l'encadrement des conditions de travail est trop rigide, voire inadapté aux nouvelles modalités du travail (mobilité, flexibilité…) tout en ne prenant pas en compte les risques spécifiques nouveaux. Le compte pénibilité est ainsi construit autour de la pénibilité industrielle. Il ne s'agit pas de remettre en cause cette approche, qui trouve à s'appliquer à un grand nombre de situations.

La question de la complémentarité pose la question de l'encadrement des conditions de travail à l'heure du numérique

Néanmoins la nécessité d'encadrer des nouvelles situations de travail appelle l'ouverture d'un chantier législatif spécifique : obéissance exclusive aux instructions d'une machine, impossibilité de discuter avec ses collègues sans passer par une interface machine… L'enjeu de la complémentarité devra être au cœur de cette redéfinition de l'encadrement des conditions de travail.

Amorcer une transformation de la formation initiale et continue pour favoriser l'apprentissage de la créativité

Le développement de l'intelligence artificielle nécessite une transformation des manières de former ainsi que des contenus de formation.

Ce développement fait en effet peser des exigences nouvelles, en termes de compétences, sur les individus. Cette exigence ne doit d'ailleurs pas être vue uniquement comme une contrainte, en ce qu'elle découle des possibilités nouvelles de libérer le travail humain des tâches par trop routinières ou aliénantes. Pour assurer la complémentarité de l'humain avec l'intelligence artificielle, ce sont les compétences cognitives transversales, mais également les compétences sociales et relationnelles et les compétences créatives qui doivent être développées.

L'apprentissage des compétences cognitives transversales forme le cœur des objectifs et des réalisations du système éducatif français. S'il paraît donc tout de même nécessaire ici de rappeler l'importance, dans l'ensemble des cursus, de l'enseignement des matières fondamentales pour apprendre à raisonner et à appréhender le monde de manière complexe, il semble tout de même que cette exigence soit largement identifiée. Soulignons tout de même que celle-ci remet en partie en cause une stricte conception « adéquationniste »

qui a parfois prévalu dans les discours publics et qui consisterait à construire des cursus éducatifs strictement indexés aux besoins d'un bassin d'emplois – et qui formeraient aujourd'hui des personnes dont l'emploi pourra être automatisé à peine quelques années plus tard. Ainsi une « adaptation » trop précise d'une formation à des postes vacants conduirait très probablement à une « inadaptation » plus globale des individus à un marché de l'emploi en constante évolution.

Néanmoins la seule focalisation sur les compétences cognitives générales a souvent conduit à sacrifier l'apprentissage d'une autre qualité qui devient encore plus essentielle aujourd'hui et qui peut même figurer comme la compétence matricielle dans un monde en perpétuelle évolution : la créativité. C'est pour cette raison qu'il ne sera pas possible de faire l'économie d'une transformation du système éducatif français qui mette en avant l'exigence de l'apprentissage de la créativité.

L'apprentissage de la créativité suppose une modification profonde des modes d'enseignement : il ne s'agit pas de cantonner la créativité, entendue comme capacité de « développement personnel » à des matières « artistiques » ou à des enseignements annexes/d'ouverture, comme c'est souvent le cas aujourd'hui. C'est la manière d'enseigner les matières fondamentales qui doit être modifiée pour des pédagogies nouvelles qui soient orientées davantage vers le développement de l'esprit critique et de la coopération. Sur ce sujet, les études et les rapports sont évidemment nombreux et les réflexions sur les pédagogies nouvelles, dès la maternelle, ont été largement développées depuis maintenant presque 30 ans. À cet égard les enseignants font souvent l'objet d'injonctions contradictoires, dans des conditions d'exercice souvent difficile : il s'agit à la fois de suivre des programmes très précis, dans une logique d'évaluation chiffrée permanente des élèves et avec des indicateurs de suivi resserrés, mais en même temps de mettre en place des méthodes pédagogiques très innovantes, qui demandent souvent beaucoup de temps, de moyens et de liberté.

L'apprentissage de la créativité suppose une modification profonde des modes d'enseignement

Loin de ce rapport, donc, l'idée d'ajouter de nouvelles injonctions, de l'extérieur. Au contraire, il s'agit de mettre au centre les capacités d'initiative des enseignants et leur donner les moyens d'être reconnus et d'agir lorsqu'ils innovent. Combien, en effet, d'enseignants, à tous les niveaux et même dans l'enseignement supérieur, qui innove, s'investissent de manière importante dans la rénovation des méthodes pédagogiques et qui voient leurs efforts ignorés et leurs réussites minorées ? Il s'agit de modifier cet état de fait, pour mettre en valeur ceux qui s'investissent pour modifier les pratiques : non pas pour diminuer ceux qui, au quotidien, accomplissent leur travail au mieux, mais pour montrer ce qu'il est possible de faire, pour donner des exemples et, surtout, pour créer des réseaux.

En parallèle, un ou plusieurs lieux de veille, de prospective et d'expérimentation pourraient être créés à l'intérieur du ministère, pour favoriser la mise en place et la diffusion de stratégies innovantes.

Favoriser la créativité et les pédagogies innovantes

Il s'agit de lancer un ensemble d'actions visant à favoriser la créativité et les pédagogies innovantes dans le secteur de la formation professionnelle (ministère du Travail), l'éducation nationale et l'enseignement supérieur et la recherche afin de mettre en place des dispositifs de mutualisation et des outils de financement communs aux trois secteurs. Cela vise à développer des expérimentations pédagogiques nouvelles à différents niveaux (pédagogie par projet, transdisciplinaire, pair-à-pair…).

Le développement de l'IA renforce la mutation des chaînes de valeur et entraîne une décorrélation entre les acteurs qui financent la formation professionnelle et ceux qui captent la valeur ajoutée

Ces actions n'auront pas pour objectif de créer de nouvelles injonctions ou de nouvelles obligations pour les enseignants, mais, avant toute chose, de mettre en valeur et en réseau ceux qui mettent en place des pratiques pédagogiques innovantes.

Elles viseront également à donner des moyens et des capacités d'action à ces innovateurs, dans une logique proche de celle des entrepreneurs d'intérêt général, en privilégiant la valorisation des collectifs.

En amont de toute mesure spécifique, la modification des formations délivrées aux enseignants doit être une priorité. En outre les innovations du système périscolaire doivent être mises en valeur et utilisées par le système éducatif traditionnel : de nombreuses initiatives favorisent la créativité et l'innovation, telles que les concours (tournoi français des jeunes mathématiciens), les initiatives d'accompagnement pédagogiques (Curious Mind) ou les expérimentations locales.

Le premier objectif est de mettre en valeur et en réseau ceux qui mettent en place des pratiques pédagogiques innovantes et orientées vers l'apprentissage de la créativité.

Créer une plateforme de mise en valeur des porteurs de pédagogies innovantes

Elle pourrait être le support :

- d'une bibliothèque des pédagogies innovantes avec une explication pour chaque pratique et les règles pour les mettre en place ;
- de l'indexation de l'ensemble des projets pédagogiques innovants qui ont été mis en place au sein de l'éducation nationale, de l'ESR, mais également de la formation professionnelle ;
- de la mise en valeur des personnes et des établissements qui portent ces pratiques innovantes et l'incitation à la constitution de réseaux d'échange autour de ces pratiques ;
- du lancement et de la communication autour d'événements visant à diffuser les pratiques innovantes.

Le pilotage de cette plateforme devra être assuré de manière interministérielle (éducation nationale, recherche, travail).

S'inspirer : Technion en Israël

Le Technion – Institut de technologie d'Israël est un institut de recherche et une université publique à Haïfa, en Israël, spécialisé dans les domaines de la science et de la technologie. Dans certaines filières, et notamment en informatique, les cours sont principalement constitués par des sessions autour d'un projet spécifique. Les étudiants sont mis en situation de résoudre un problème et/ou créer un objet ou une fonction. Le professeur agit comme un facilitateur. Les résultats des méthodes de ce type sont inspirants : l'entreprise Waze a été créée par des étudiants de Technion, ainsi que de nombreux algorithmes de Google.

Expérithèque

La plateforme Expérithèque, créée par le ministère de l'Éducation nationale, a pour objectif de recenser les innovations pédagogiques sur l'ensemble du territoire. Ce type de dispositif pourrait servir de base à une plateforme future, qui intégrerait davantage les objectifs décrits ci-dessus et qui s'appuierait sur une fonction d'animation dédiée.

Donner du temps et des moyens aux porteurs d'innovations pédagogiques

Dans une logique similaire à celle des entrepreneurs d'intérêt général, certaines personnes ou certains établissements porteurs de projets pédagogiques innovants pourraient se voir attribuer des moyens particuliers pour documenter et diffuser leurs projets. Deux points à prendre en compte, néanmoins, pour amorcer une telle logique : il s'agit tout d'abord moins de singulariser des individus que de mettre en valeur des collectifs. L'objectif principal d'une mise à disposition de moyens – ou de décharge de cours, par exemple – doit ensuite être la formalisation, et la diffusion des expériences pédagogiques innovantes.

Les modes de reconnaissance, en termes de carrière, de ce type de décharge, devront être construits. Créer un dispositif de décharge similaire pour les personnels qui ne sont pas enseignants devrait également être envisagé, afin de prendre en compte la transformation au niveau de l'ensemble des métiers du ministère.

Expérimenter de nouveaux modes de financement de la formation professionnelle pour tenir compte des transferts de valeur

Le financement de la formation professionnelle est fondé sur la masse salariale. Or, le développement de l'IA renforce la mutation des chaînes de valeur et entraîne une décorrélation entre les acteurs qui financent la formation professionnelle et ceux qui captent la valeur ajoutée. Ainsi des acteurs ayant une très faible masse salariale peuvent être à l'origine d'une grande partie de la valeur ajoutée d'une chaîne de valeur globale, qu'ils contribuent à très largement modifier. Pour autant, à l'heure actuelle, ils ne participent pas au financement de la transition professionnelle des individus employés par d'autres acteurs de la chaîne de valeur.

Pour prendre un exemple, si aujourd'hui l'équipement logiciel représente 40 % de la valeur ajoutée dans une voiture, ce chiffre pourrait s'élever à 70 % dans 10 ans. Si l'entreprise qui développe le logiciel n'est pas la même entreprise que celle qui construit le reste de la voiture, on assiste alors à un phénomène de captation de la valeur ajoutée par un des éléments de la chaîne de valeur globale. Cette captation s'accompagne évidemment d'une pression économique importante qui pèse sur les acteurs de la chaîne qui voient leur valeur économique captée. Ces acteurs sont souvent des acteurs historiques employant beaucoup de personnes et sur qui pèse la responsabilité d'assurer la transition professionnelle de leurs employés, en termes d'accompagnement et de financement. Concernant le secteur automobile, par exemple, on peut ainsi imaginer qu'une startup, employant 500 personnes, puisse vendre un logiciel de conduite autonome à un acteur historique français, employant des dizaines de milliers de personnes, dont la transition professionnelle doit être assurée. Ou bien, plus directement qu'une entreprise puisse capter la valeur ajoutée en proposant des solutions ayant pour vocation d'automatiser les emplois d'autres acteurs.

Ce phénomène n'est pas propre à l'IA, mais est plus généralement lié au mode de développement du secteur numérique : comment alors assurer que les acteurs qui captent la valeur ajoutée puissent participer au financement de l'évolution des compétences individuelles qu'ils ont parfois participé à rendre obsolètes ?

L'idée d'un dispositif fiscal a pu faire son apparition dans le débat public, pour des raisons similaires. Il pose plusieurs difficultés : tout d'abord il semble contradictoire avec le soutien au développement de l'IA, puisqu'il est évidemment désincitatif. Ensuite, l'assiette fiscale d'un tel dispositif est difficile à établir : doit-on taxer le robot, le logiciel, les algorithmes ? est-ce véritablement possible à définir sans organiser immédiatement des phénomènes d'évitement massif ? Enfin, cette idée ne prend pas forcément en compte la chaîne de valeur et la captation de la valeur ajoutée, qui semble pourtant être au cœur du problème : taxer l'entreprise qui automatise des postes, sans se rendre compte que l'ensemble des gains de productivité associés à cette automatisation est captée par un acteur tiers qui développe l'intelligence artificielle, semble manquer le cœur du sujet.

Il est donc proposé d'instaurer un dialogue social autour du partage de la valeur ajoutée au niveau de la chaîne de valeur entière. Ce type de négociation ne correspond pas aux structurations habituelles du dialogue social qui fonctionne très largement à un niveau national et surtout suivant une structuration verticale, par branche. Une ou deux expérimentations pourraient être organisées par l'Organisation internationale du travail, ou encore les comités de dialogue social sectoriel, autour de produits et de chaînes de valeur particulièrement symptomatique des phénomènes de captation de valeurs. Ces négociations auront pour objectif d'imaginer des modes de décorrélation du financement de la formation professionnelle et de la masse salariale, à un niveau mondial.

Cela permettrait notamment de prendre en compte, à un autre bout de la chaîne, les exigences d'évolution professionnelle et de formation des

travailleurs des plateformes de crowdsourcing, telles qu'Amazon Mechanical Turk. *Via* ces plateformes ces travailleurs jouent en effet un rôle essentiel dans le développement de l'IA, en préparant les jeux de données ou en participant même plus directement à l'entraînement des algorithmes d'intelligence artificielle.

Former des talents en IA, à tous niveaux

Multiplier par trois le nombre de personnes formées en IA

Pour faire face aux besoins des entreprises, il est nécessaire de se fixer un objectif clair : multiplier par trois le nombre de personnes formées en IA, à horizon 3 ans. Pour ce faire, et au-delà des démarches déjà engagées par le ministère de l'Enseignement supérieur et la Recherche sur le sujet, il convient de :

Faire en sorte que l'offre de formation existante s'oriente vers l'IA

Les formations en mathématiques et en informatique existantes, qui rassemblent les briques de base utiles à l'intelligence artificielle, devraient s'orienter naturellement vers l'enseignement de l'intelligence artificielle. C'est le cas pour les écoles d'ingénieurs qui, déjà, mettent sur pied des formations spécifiques sur ce sujet. Il s'agit donc tout d'abord d'améliorer la communication sur les formations existantes en IA avant même d'en créer éventuellement de nouvelles, afin de rendre plus facile l'orientation des étudiants.

Il est nécessaire de se fixer un objectif clair : multiplier par trois le nombre de personnes formées en IA, à horizon 3 ans

Plus spécifiquement un ensemble de mesures incitatives pourraient être prises à destination des écoles d'ingénieurs. L'organisation d'un défi IA pour les travaux d'initiative personnelle encadrée effectués par les ingénieurs en école pourrait être une de ces mesures.

Des actions spécifiques visant à féminiser les formations en mathématiques et en informatique devront également être menées. Il est proposé de fixer un objectif fort de 40 % de femmes dans les filières du numérique (*cf.* partie mixité, diversité et IA).

Enfin, outre la question de l'augmentation du nombre de cursus, il est proposé que les aspects liés à l'éthique des données, à la vie privée et à la protection des données soient intégrés pleinement dans les cursus d'intelligence artificielle.

S'inspirer : l'enseignement de l'IA au Canada

Plusieurs universités canadiennes proposent des enseignements et cursus qui s'appuient sur les développements les plus récents de l'IA et de l'apprentissage profond (*ex.* informatique et recherche opérationnelle), notamment : – dans la Province du Québec : l'Université de Montréal, l'Université McGill, Polytechnique Montréal, HEC Montréal, l'École de technologie supérieure

(Montréal), l'Université Laval (Québec) ; – dans la Province de l'Ontario : l'Université de Toronto et la Rotman School of Management, la Faculté d'ingénierie de l'Université de Waterloo, l'Université de Guelph.

L'IVADO et le MILA proposent en outre des programmes de formation sur les techniques de l'IA adressés aux étudiants mais aussi à des professionnels. Dans l'accord de coopération Québec-Ontario en matière d'IA (septembre 2017), les deux provinces ont inscrit comme priorité de soutenir le développement de programmes de formation qui « reflètent l'évolution de l'écosystème de l'IA » et d'étudier les besoins de main d'œuvre dans les universités et les entreprises « afin de soutenir la croissance en IA et la manière dont l'immigration et la mobilité peuvent répondre à ces besoins ».

Créer de nouveaux cursus et de nouvelles formations à l'IA

S'il est important d'augmenter le nombre de formations de haut niveau, de type master ou doctorat, il est tout d'abord essentiel de modifier les modes de formation à l'IA. La formation de spécialistes hybrides, qui maîtrisent des compétences autres en plus des compétences en IA, est ainsi nécessaire. Des programmes croisés et des doubles diplômes pourraient être créés, avec notamment les disciplines les plus en tension à l'université (médecine, physique, chimie, sociologie, psychologie, droit…), au niveau licence, master et doctorat.

Au-delà des programmes croisés, les formations et la recherche en sciences humaines et sociales doivent être encouragées à se saisir de ces sujets plus directement, en transformant ses offres de formation et en orientant la recherche dans cet objectif.

Il est également nécessaire de favoriser la création de modules généraux à destination des personnes en formation dans un autre cursus et en activité. Au vu des besoins dans ce domaine et de l'indispensable croisement des compétences, l'ouverture et l'accessibilité des formations doivent être encouragées. Ces modules pourraient être des formations courtes, délivrées par les universités et les ingénieurs en formation continue. Un appel à projets pour la constitution de MOOCs spécifiques à ce sujet pourrait également être lancé.

Enfin, au-delà des formations de haut niveau de type master ou doctorat, un besoin de plus en plus important émerge en matière de professionnels de l'IA à niveau qui pourrait être en fin de licence (Bac +3 voire en sortie de filière professionnalisante). L'objectif est de former des étudiants sur des métiers beaucoup plus techniques de l'IA sur lesquels une connaissance très fine de l'IA n'est pas nécessaire mais qui seraient directement activables par les entreprises. On peut penser à quelques exemples comme l'industrialisation de technique d'IA, la production d'analyses et de visualisations de données, l'intégration et l'adaptation de composants d'IA, etc. Ce besoin n'est aujourd'hui pas du tout couvert par l'offre de formation et va croître exponentiellement avec la diffusion de l'IA dans les entreprises.

Pour atteindre l'objectif de tripler le nombre de personnes formées à l'IA à horizon 3 ans, la volonté politique devra être accompagnée de moyens budgétaires supplémentaires, à même de permettre aux institutions de formation de mettre en place les cursus nécessaires et de développer leur capacité d'accueil.

Renforcer l'éducation en mathématiques et en informatique

Les besoins de formation en IA ne pourront être remplis qu'à l'aide d'un renforcement considérable de notre système éducatif en mathématique et informatique. Cependant, les performances de notre enseignement mathématique se sont dégradées dans les vingt dernières années, au point que la France occupe maintenant, selon certains indicateurs, la dernière place de l'OCDE en la matière ! Ce phénomène est évoqué, avec de nombreuses pistes d'amélioration, dans le rapport Torossian-Villani. Les mesures envisagées portent sur la formation des enseignants, la reconquête des délicats équilibres qui sont à la base du cours de mathématique, et le soutien aux activités périscolaires, au travail en équipe et aux expérimentations pédagogiques.

Pour ce qui est de l'informatique, ce même rapport recommande la mise en place d'un enseignement d'algorithmique dès le cours préparatoire, d'abord « débranché » puis de mieux en mieux identifié jusqu'à être une pleine spécialité au niveau du baccalauréat. La nouvelle option informatique et la nouvelle discipline « humanités numériques », au lycée, viendront utilement permettre à la fois de renforcer la compétence en algorithmique des élèves les plus motivés, et la culture numérique qui dans notre société numérique doit maintenant faire partie du bagage de tous et toutes.

Partie 4 –

L'intelligence artificielle au service d'une économie plus écologique



Plus que jamais, la révolution provoquée par le développement des usages et services numériques tend à occulter leur réalité industrielle et leurs impacts environnementaux[1]. Et pourtant, il est urgent de les prendre en compte. Il y a déjà deux ans, l'association américaine des industriels du semi-conducteur prévoyait qu'en 2040, les besoins en espace de stockage au niveau mondial, fondamentalement corrélés au développement du numérique et de l'IA, excéderaient la production disponible globale de silicium[2].

1. Voir le rapport Greenpeace Clicking Clean : Who is winning the race to build a green internet ?

2. Voir le rapport de 2015 de l'industrie du semi conducteur américaine : rebooting the IT revolution, a call to action

Par ailleurs, d'ici 2040, l'énergie requise pour les besoins en calcul devrait également dépasser la production énergétique mondiale. Les progrès de la *blockchain* pourraient également faire exploser nos besoins énergétiques. Il est donc capital de sensibiliser le plus grand nombre à ces enjeux et d'agir pour prévenir les pénuries. À l'heure où le réchauffement climatique est une certitude scientifique, il n'est plus possible de poursuivre un horizon technologique et sociétal délié de la nécessité de préserver notre environnement.

D'ici 2040, l'énergie requise pour les besoins en calcul devrait également dépasser la production énergétique mondiale

La réalité écologique de la révolution industrielle numérique

La consommation énergétique du numérique augmente de 8,5 % par an et sa part dans la consommation mondiale d'électricité (en croissance de 2 % par an) pourrait atteindre 20 % (scénario modéré) ou 50 % (scénario pessimiste) en 2030, et être ainsi multipliée par 10 en 20 ans. Vu le mix électrique mondial, la part d'émissions de gaz à effet de serre (GES) du numérique va ainsi passer de 2,5 % en 2015 à 5 % en 2020 (2,5 Gt).

La production d'équipements numériques est fortement consommatrice de métaux rares, critiques, faiblement recyclables et dont les réserves accessibles sont limitées (15 ans pour l'Indium par exemple, dont la consommation a été multipliée par 7 en 10 ans), ce qui peut conduire à une impasse technologique si la croissance des besoins ne ralentit pas. D'autant plus que certains de ces métaux sont également utilisés pour la production d'équipements nécessaires pour les énergies renouvelables (éolien, solaire). Au-delà du pic énergétique et pétrolier, il est ainsi à craindre un pic de l'utilisation des métaux, alimentant le pic énergétique et pétrolier, puisque toujours moins concentrés, ils nécessiteront plus d'énergie pour leur extraction. D'autre part, ces métaux sont source de pollution des sols lors de leur extraction et en fin de vie des équipements lorsque la filière de traitement n'est pas adaptée (ce qui concerne plus de la moitié en poids des équipements électriques et électroniques en France et bien plus dans le monde).

L'essor de l'IA est de nature à renforcer les tendances observées : stockage et échange d'un volume croissant de données, augmentation de la puissance de calcul, pression sur le renouvellement des équipements pour augmenter les performances, etc. Le déploiement de nouvelles architectures informatiques permettant d'optimiser le recours au *cloud computing* pourrait ralentir certains effets (volume de données centralisées), mais en accélérer d'autres (renouvellement des équipements).

Source : Contribution de The Shift project *à la consultation organisée par la mission*

Si l'IA porte en germe des risques environnementaux, elle est également porteuse de solutions pour les prévenir. Les opportunités de l'IA pour l'écologie sont nombreuses. L'IA va nous permettre de comprendre la dynamique et l'évolution des écosystèmes en se basant sur la réalité de leur complexité biologique, d'optimiser la gestion de nos ressources, notamment énergétiques, de préserver notre environnement et d'encourager la biodiversité. Le développement de l'IA peut faire émerger de nouvelles formes d'entretien des espaces naturels à protéger, terrestres et marins. Des robots autonomes permettant de chasser les étoiles de mer invasives aux barrières intelligentes permettant de dévier la faune afin de la préserver, les possibilités sont nombreuses pour développer des nouvelles modalités d'interaction avec la nature, plus adaptatives, plus respectueuses.

La France et l'Europe peuvent devenir le fer de lance de cette transition écologique intelligente

Néanmoins c'est là un paradoxe bien connu de l'optimisation : en permettant des gains énergétiques, de nouvelles possibilités de consommations, l'IA peut entraîner de nombreux effets rebonds (*voir encadré*). Ainsi, l'IA peut nous éviter de repenser nos modes de croissance, de consommation et de mesure des richesses produites, et nous amener à consommer tout autant, voire plus qu'auparavant.

Qu'est-ce que l'effet rebond ?

L'effet rebond est un phénomène par lequel les économies d'énergie ou de ressources initialement prévues par l'utilisation d'une nouvelle technologie peuvent être partiellement ou complètement compensées à la suite d'une adaptation du comportement de la société. Il peut s'exprimer de diverses manières : augmentation de la consommation sur le même poste de dépense, ou bien sur un autre poste de dépense. Le comportement du consommateur est déterminant. Un investissement dans des travaux d'assainissement énergétiques d'un bâtiment peut générer un sentiment de bonne conscience susceptible de contrebalancer la réticence qu'il peut y avoir à réserver des vacances en avion à destination d'une île lointaine. L'aspect économique joue également un rôle. Les économies réalisées, par exemple en diminuant la facture de chauffage, peuvent être réinvesties dans un autre produit ou une autre activité impliquant une nouvelle consommation d'énergie.

Une vision réellement ambitieuse de l'IA devra donc aller au-delà d'un simple discours sur l'optimisation de l'utilisation de nos ressources : elle devra intégrer un paradigme de croissance plus économe et collectif, inspiré de la compréhension de la dynamique des écosystèmes, dont elle sera un outil clé. L'IA peut, doit nous permettre de penser de nouvelles formes d'usages, de partage et de collaboration, qui permettront de concevoir des modèles techniques et économiques plus sobres. L'IA, en permettant de modéliser la dynamique et le devenir des écosystèmes biologiques, peut contribuer à une véritable transition écologique. Et la France et l'Europe peuvent devenir le fer de lance de cette transition écologique intelligente. Quels sont les atouts de la France pour devenir championne de l'intelligence artificielle soutenable et écologique ? Ils sont nombreux : écosystèmes académiques, recherche importante sur les nanotechnologies, une manne incroyable de données énergétiques, agricoles, marines, de fourniture d'eau, de transport…

Inscrire le sujet à l'agenda international

Sur le plan international, la France a donc les moyens de prendre ce *leadership*. Elle pourrait premièrement proposer d'étudier les impacts de l'IA sur la réalisation des objectifs onusiens de développement durable (ODD) : en quoi l'IA en met certains sous contraintes, comment elle peut à l'inverse permettre d'en accélérer d'autres ? La France pourrait être à l'avant-garde sur ce type d'étude, qui n'a pas encore été initiée par d'autre pays. Elle pourrait être coordonnée à des impulsions dans le cadre de l'Accord climat et du Pacte mondial pour l'environnement. La France pourrait proposer la mise en place d'un événement de grande envergure, sur le modèle de la COP 21, pour mettre en avant des initiatives exemplaires et à fort impact. Elle pourrait également porter de manière plus systématique la convergence des deux transitions, écologique et numérique, au sein des instances internationales, notamment au sein du G7, où les discussions sur l'IA ont été entamées et dont la France s'apprête à prendre la présidence.

Favoriser la convergence de la transition écologique et du développement de l'IA

Mettre en place un lieu dédié à la rencontre de la transition écologique et de l'IA

Pour que les acteurs des deux transitions, numérique et écologique, puissent se rencontrer, il est nécessaire de confronter la recherche en IA avec les disciplines qui visent à comprendre la complexité des ressources énergétiques et matérielles et optimiser leur utilisation. Cette rencontre pourrait prendre forme dans le cadre du réseau de recherche en IA préconisé en deuxième partie, ou bien investir un lieu déjà existant et moteur dans la recherche environnementale. Cette branche de la recherche pourrait s'intéresser à divers sujets :

i. L'étude des nouveaux modes de stockage plus économes et radicalement disruptifs, à l'instar du stockage sur ADN.

Le stockage sur ADN

Le potentiel du stockage sur ADN synthétique est étudié par plusieurs chercheurs dans le monde. En juillet 2016, le centre de recherches de Microsoft a converti 200 mégaoctets de données en ADN. Dans une publication de mai 2017, des chercheurs de Microsoft affirment que la société est prête à avoir un système de stockage opérationnel sur ADN à la fin de cette décennie. En France, la startup DNA Script travaille aussi sur le sujet. Les avantages écologiques de ce mode de stockage sont nombreux.

La densité de l'information stockée est nettement supérieure : des chercheurs de l'université de Columbia et du *New York Genome Center* (NYGC) ont démontré qu'il était possible d'atteindre une densité théorique de 215 pétaoctets par gramme grâce au recours à du stockage sur ADN. À titre de comparaison, Samsung parvient actuellement à stocker 512 Go dans une puce de 1 gramme.

Ainsi, ces développements ouvrent la voie à d'importantes réductions de l'emploi de métaux lourds, et à des réductions des émissions de gaz à effet de serre, du fait de la possibilité de s'éloigner du modèle de grands *datacenters* et du stockage sur puce de manière plus générale.

Si les coûts demeurent importants et les avancées futures en termes d'accélération du processus de stockage et de lecture encore très incertaines, il n'en demeure pas moins que des progrès dans le domaine continuent à émerger.

ii. Des projets à la croisée des sciences du vivant et de l'écologie, à l'instar du projet *Tara Océans*. En effet, les mesures et suivis de la biodiversité et des services écosystémiques (par exemple, qualité de l'eau, études d'impact, espèces invasives et toxiques, gestions des stocks de poissons, espèces clé de voûte, etc.) se feront dans un futur proche à l'aide des méthodes de séquençage et d'imagerie automatique à haut débit. Le traitement et la modélisation de ces données se feront avec l'IA. Ces IA développées pour la compréhension des écosystèmes pourront probablement être recyclées dans un cadre économique.

Le projet *Tara océans*

Le projet *Tara Oceans* : collecter et ouvrir des données massives sur l'océan pour comprendre et modéliser un biome planétaire. Initiées en 2008, les expéditions *Tara Oceans* parcourent l'océan pour mesurer pour la première fois un écosystème global, en embrassant sa complexité, des virus aux animaux, des gènes aux structures d'organismes, en fonction des paramètres physico-chimiques. Le programme, financé sur un mode innovant public-privé, a produit des jeux de données écosystémiques massifs (notamment >90 Terabase de données ADN et >30 Terabyte d'images d'organismes planctoniques), disponibles en libre accès *via* des bases de données européennes. Ils forment aujourd'hui la description la plus complète d'un écosystème à l'échelle de la planète. Les couches de données standardisées, des génomes aux images satellites, en passant par les images d'organismes et les mesures physico-chimiques, forment un cas d'étude unique pour l'application et le développement de protocoles IA capables de mesurer et modéliser la biodiversité et ses interactions avec les cycles biogéochimiques et le climat.

iii. La recherche sur le climat et la météo : Des appels à projets pourraient avoir pour objet le champ de la météo, des prédictions climatiques et de la prévention des risques. En effet l'IA pourrait permettre des avancées majeures en ce domaine où l'expertise de la France est déjà très reconnue. L'IA peut ainsi être particulièrement utile dans le cadre de la prédiction des risques et impacts, notamment dans le cas du croisement des données météo classiques avec de nouveaux types de données (typiquement, automobiles et stations météo connectées). Ces recherches sont cruciales pour, par ailleurs, aider utilement au développement d'une agriculture et de transports plus intelligents, et pour renforcer la compétitivité de nos importateurs (prévision des récoltes etc.).

Mettre en place une plateforme au service de la mesure de l'impact environnemental des solutions numériques intelligentes

Il n'existe pas aujourd'hui de politique claire en faveur de l'évaluation écologique des solutions numériques. De tels dispositifs expérimentaux d'évaluation sont déjà en cours[3]. L'Ademe pourrait être l'acteur en charge de leur analyse et de leur extension afin de créer une base nationale permettant de généraliser ce type d'évaluations. Cette base pourrait notamment utilement s'appuyer sur une incitation à la mise en *open data* des spécifications techniques normées des produits concernés.

3. Voir par exemple l'outil *ecoindex.fr* du Collectif Conception Numérique Responsable

Une fois la base constituée, il s'agit de penser un outil simple permettant à tout citoyen de prendre conscience de ces enjeux. Un site internet pourrait être créé, qui permettrait de comparer l'impact écologique des différents produits et services, logiciels, *hardware*, impliqués dans la chaîne de valeur du numérique. Ce site devra s'appuyer sur une base de données permettant d'évaluer l'impact environnemental de *tous* les aspects de la dématérialisation à l'œuvre *via* le numérique, tant pour les particuliers (impact de la recommandation personnalisée, des *chatbots*, des techniques de reconnaissance d'image…) que pour les entreprises, afin de leur permettre d'évaluer leurs fournisseurs numériques.

Ce portail pourrait mettre en avant des procédés simples permettant de minimiser l'impact écologique du numérique. À titre d'inspiration, *GreenIT.fr* et le collectif Conception Numérique Responsable, notamment, développent une méthodologie et des outils d'écoconception qui ont déjà permis de diviser par trois l'empreinte d'un service numérique, tout en améliorant l'expérience des utilisateurs. Il pourra s'accompagner d'une incitation à la mise en *open data* des caractéristiques techniques des produits concernés. Cette démarche comparative pourrait permettre de mettre en avant de plus petits acteurs que les solutions et services les plus utilisés, de nouveaux modèles d'affaires.

Au-delà de cette plateforme et de ce site, une action plus large d'encouragement des entreprises à l'écoconception pourrait être mise en place. L'Ademe pourrait également avoir un rôle de conception et de diffusion de référentiels d'évaluation et de conception écologique des innovations numériques intelligentes.

Penser une IA moins consommatrice d'énergie

Les récents progrès de l'IA sont en grande partie dus à l'utilisation croissante de processeurs graphiques, les GPU, pour réaliser du calcul généraliste et massivement parallèle. Or ceux-ci, comme l'écrasante majorité des puces, utilisent du silicium pour former les circuits électriques et transistors.

Qu'est-ce que le GPU *(graphic processing unit)* ?

La loi de Moore faisait reposer l'accroissement de nos capacités de calcul sur la croissance du nombre de transistors des microprocesseurs. Les GPU développent une autre stratégie : l'augmentation du nombre de processeurs travaillant simultanément en coopération. Très efficaces, les technologies

GPU ont permis de mettre en œuvre des techniques d'IA de plus en plus complexes, de plus en plus efficaces et exploitant de plus en plus de données. Elles ont ainsi permis le développement des réseaux de neurones, dont la capacité dépend principalement de la puissance de calcul disponible et des volumes de données qu'ils sont en mesure de traiter. Ainsi, le GPU est devenu crucial dans la course à l'innovation puisque l'augmentation de la puissance de calcul est devenue directement proportionnelle à la capacité d'expérimentation. Les études sur l'impact environnemental de l'utilisation du GPU pour les calculs génériques sont encore peu nombreuses. Si les calculs *via* GPU peuvent être plus économes que les calculs *via* CPU (central processing unit, unité centrale de traitement), ils restent cependant très consommateurs d'énergie.

Les GPU apparaissent aujourd'hui comme clés pour le développement de l'IA. C'est pourquoi il est essentiel de penser l'innovation de rupture dans ces domaines également, pour des raisons de souveraineté, mais également pour des raisons environnementales (*voir les développements de la première partie*). En effet, les innovations qui peuvent être développées à court terme en la matière ont le potentiel d'être plus économes en énergie. Il est donc urgent de fédérer l'industrie et les chercheurs français et européens du semi-conducteur autour de ces enjeux de recherche et d'expérimentation, comme développé en première partie *Innover dans l'industrie du composant adapté à l'IA*.

Il est essentiel d'accompagner l'industrie du cloud européen dans le sens de sa transition écologique

Agir pour le verdissement de la chaîne de valeur des centres de données

À la faveur du développement du marché unique numérique, il est essentiel d'accompagner l'industrie du *cloud* européen dans le sens de sa transition écologique, afin de toujours plus verdir la chaîne de valeur de l'IA. Certains acteurs sont déjà exemplaires en termes d'optimisation de l'utilisation de l'énergie. Il est important de diffuser ces bonnes pratiques à l'ensemble du secteur. L'IA peut d'ailleurs fortement aider à ce verdissement. En 2016, Deepmind a optimisé la consommation énergétique de ses centres de données et de ses systèmes de refroidissement grâce à l'apprentissage machine. Il a ainsi augmenté l'efficacité énergétique de ses centres de données de 15 %.

Soutenir les démarches écologiques chez les fournisseurs de cloud européens

Mettre en place un label et favoriser le recours aux fournisseurs de *cloud* écologiques par les collectivités locales et l'État

Ce soutien pourra prendre la forme de la mise en place d'un label, dont le ministère de la Transition écologique et solidaire, en lien avec le Secrétariat d'État au numérique, pourrait assurer l'administration. Il pourrait être associé à la mise en place d'incitations fiscales. Cette démarche doit par ailleurs être articulée avec les travaux en cours et à venir de la Commission européenne sur le sujet.[4]

Il est important d'accélérer la transition écologique des services publics *via* l'encouragement au recours à ces fournisseurs de *cloud* écologiques, en s'appuyant sur le label ainsi créé, conformément à l'article 10 du décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics. Le recours aux

4. En effet, à la suite de la consultation publique menée par la Commission sur le sujet en octobre 2017, des actions devraient prochainement être entreprises.

fournisseurs de *cloud* européens doit être soutenu dans le sens où les grands espaces de calcul et de stockage peuvent permettre une meilleure optimisation énergétique que la démultiplication de petits *datacenters*[5].

5. Voir le Guide du *cloud computing* et des *datacenters* de la Direction générale des entreprises

Favoriser le recyclage de la chaleur produite par les centres de données

Nous devons penser dès maintenant le recyclage de la chaleur produite par les centres de données (*datacenters*), les nouvelles chaînes de valeur qui y correspondent et les investissements nécessaires à leur mise en œuvre. L'État pourrait ainsi accompagner les municipalités pour mieux appréhender ces questions. Si, pour l'instant, les quantités d'énergie disponibles sont encore faibles, elles sont appelées à grossir.

De nombreuses initiatives existent déjà dans ce domaine : il s'agit de la faciliter et de les encourager.

Quelques exemples de recyclage de la chaleur produite

Le datacenter de la banque Natixis à Marne-La-Vallée alimente en eau à 55° C le réseau de chauffage urbain d'une zone en cours d'urbanisation et le centre nautique intercommunal du Val d'Europe.

La société Stimergie a développé un mécanisme permettant de récupérer chaque année 1 MWh de chaleur par serveur, soit près de 60 % de la chaleur dégagée. Autrement dit la consommation des serveurs est réduite de plus de moitié. L'entreprise a signé plusieurs contrats d'installation ailleurs en France, notamment pour équiper un bâtiment résidentiel de 40 logements à Nantes, ainsi que la piscine de la Butte aux Cailles dans le 13e arrondissement de Paris.

Faire levier sur l'*open hardware* et l'*open software*

Le projet *Open Compute* l'a montré : les démarches d'*open hardware* peuvent permettre des économies d'énergie significatives. Facebook a annoncé avoir économisé 2 milliards de dollars sur ses coûts d'infrastructure en 3 ans grâce à ce projet, avoir gagné 38 % en efficacité énergétique et économisé jusqu'à 24 % en coûts de fonctionnement.

Open compute project

L'Open compute project a été lancé par Facebook en 2011, en association avec Intel, Rackspace, Goldman Sachs et Andy Bechtolsheim. HP, Dell, Cisco, Apple et Microsoft ont ensuite rejoint le mouvement. Le projet et sa fondation ont pour objectifs de concevoir, utiliser et favoriser la diffusion des solutions les plus efficaces et les plus scalables en termes d'infrastructures de calcul et de stockage. Les contributions au projet doivent répondre à 4 critères : efficacité, scalabilité, ouverture et impact.

Plusieurs initiatives européennes ont actuellement cours pour soutenir l'industrie du *cloud* européenne. Il s'agirait de les articuler autour d'initiatives en *open hardware* et *open software*, afin de renforcer la confiance du marché européen dans le *cloud*. La *European cloud initiative* pourrait être utilement associée à cette démarche. Une telle démarche permettra d'augmenter le pouvoir d'influence des acteurs européens, en augmentant leur part de marché et leur présence dans les discussions en termes de standardisation.

Libérer la donnée écologique

L'IA ouvre des perspectives radicalement nouvelles pour la compréhension et la préservation de l'environnement. Que ce soit en termes d'identification et préservation de la biodiversité, de réparation des dommages causés, de modélisation de l'impact de nos actions, d'optimisation de l'utilisation des ressources, de mise en valeur des énergies renouvelables ou bien comme outil au service de services partagés, l'IA peut contribuer à diminuer toutes nos consommations et à amplifier toutes nos actions en faveur du respect et de la restauration des écosystèmes régionaux et globaux. De la reforestation par les drones, en passant par la cartographie des espèces vivantes *via* les nouvelles possibilités fournies par la reconnaissance d'image, l'IA nous fournit des outils toujours plus nombreux et puissants pour réellement entrer dans la transition écologique.

Comment en tirer pleinement parti pour appuyer l'excellence de la France en matière écologique ? Quelles actions favoriser ? Deux actions apparaissent comme prioritaires : la constitution de jeux de données croisant diverses sources, y compris génétiques, mises à la disposition du plus grand nombre : chercheurs, porteurs d'innovations, startups d'état, etc., et le soutien à des objectifs précis. Nous en proposons deux : la réduction du bilan carbone *via* l'optimisation des modes de transports, la transition de l'agriculture française vers une agriculture plus intelligente, et moins polluante. Ces deux objectifs pourraient ainsi s'incarner à travers des politiques sectorielles dédiées, sur le modèle de ce qui est décrit dans la première partie. Ces propositions de défis sectoriels sont notamment évoquées dans les focus sectoriels (agriculture et transport).

L'IA ouvre des perspectives radicalement nouvelles pour la compréhension et la préservation de l'environnement

OpenSolarMap l'a prouvé : la valeur présente dans les bases de données les plus traditionnelles[6] peut être immense. Il faut pour cela faire levier sur l'ensemble des données publiques s'intéressant à nos territoires, nos habitations, nos consommations énergétiques, etc. afin de développer des solutions d'IA au service de la transition écologique.

Le droit français commence à intégrer l'importance de la donnée et de son partage, notamment *via* la notion de données d'intérêt général[7]. Le dernier rapport du ministère de la Transition écologique et solidaire[8], qui recense les bases de données publiques dans le domaine, témoigne d'un important volume de données disponibles. La démarche entreprise par ce même ministère en termes de cartographie et de valorisation des données doit ainsi être encouragée, accélérée, voire étendue et associée à la politique de la donnée d'autres ministères (agriculture, logement, santé…).

Cette démarche devrait aller de pair avec la formation des acteurs publics de l'écologie aux potentiels de l'IA. Il s'agit notamment d'identifier les missions et programmes en cours du ministère, qui pourraient être mieux accomplis à l'aide de l'IA, à l'instar de la police de l'environnement ou de l'actualisation de certaines bases *via* de nouvelles techniques de reconnaissance d'image. Afin d'amorcer ce mouvement, il pourrait être initié au niveau national et dans

6. Ainsi, le projet *OpenSolarMap* s'est d'abord appuyé sur les données cadastrales, avant d'associer d'autres données : de satellite et contributives

7. Notamment avec la loi pour une République numérique. Par ailleurs en matière environnementale, les directives européennes sur l'information environnementale et l'information géographique invitent à une ouverture encore plus grande des informations liées à l'environnement, et les lois françaises récentes sur la transition énergétique et la croissance verte, ou encore la loi sur la biodiversité comprennent des dispositions qui rendent obligatoire le partage de données. Conscient de l'importance du sujet, le ministère de la Transition écologique et solidaire s'est d'ailleurs doté d'un Superviseur général des données en 2016.

8. Voir le rapport Cartographie des données du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer du CGEDD

chaque territoire une « revue intelligente » des politiques environnementales : plans climat, agendas 21, programmes de prévention des déchets, plans de déplacements, SNTEDD (stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable)… à l'aune des solutions d'IA qui pourraient les optimiser. La revue aurait pour objectif de s'assurer que ces stratégies exploitent le potentiel de l'IA. Par ailleurs, des acteurs spécialistes de l'IA devraient être associés à la définition de toute nouvelle stratégie publique environnementale.

Libérer la donnée publique

Pour développer des solutions d'IA au service de la transition écologique, il est primordial de mettre à la disposition de tous, chercheurs et entreprises européennes, et rapidement, à horizon 2019, les données publiques disponibles : météorologiques, agricoles, de transports, d'énergie, de biodiversité, de climat, de déchets, cadastrales, de diagnostic de performance énergétique… Cette libération pourrait servir à encourager les innovations qui ouvrent la voie à des actions rapides : rénovation mutualisée de l'habitat, valorisation des énergies renouvelables, efficacité énergétique, facilitation des circuits courts, valorisation des déchets des particuliers et des industriels, permis de construire, permis de démolir etc. Mais également des recherches pour des innovations plus structurées : météo prédictive sans équations différentielles, amélioration du trafic prédictif, prévision des pollutions, crue, etc.

La libération de ces données doit permettre l'émergence de champions européens, par exemple des plateformes de services autour du bâtiment et de la rénovation de l'habitat. Il faut ainsi être vigilant dans la libération des données liées à ces questions (efficacité énergétique, données des bâtiments…), afin d'éviter la plateformisation de ces secteurs par des acteurs étrangers. Il s'agit de favoriser leur ouverture dans le cadre de défis sectoriels précis.

Dans le cadre du secteur agricole, la libération de la donnée publique pourrait ainsi donner un nouveau cadre à la transformation numérique de l'agriculture, en la plaçant dans une perspective plus large que celle de la seule traçabilité alimentaire et sanitaire. En associant les données liées à la PAC, les données comptables, celles liées à la transformation, la distribution, l'alimentation, la nutrition et bien d'autres données liées à des industries connexes à l'agriculture, la puissance publique peut aider à la mise en place d'une nouvelle économie agricole française, apte à faire émerger des champions de la *foodtech*.

Il est primordial de mettre à la disposition de tous les données publiques disponibles

Libérer la donnée privée

L'ouverture de certaines données privées devra se faire de manière circonstanciée, dans le cadre de la mise en œuvre de défis sectoriels (*voir la première partie et ses développements relatifs à la politique de la donnée*).

L'ouverture de ces données doit également passer par une politique d'incitation en direction des grands groupes français des secteurs liés à la transition écologique (fourniture d'eau, de service de collecte des déchets, etc.).

Et si demain des quotas énergétiques limitaient nos déplacements ?

La planète va mal. On avance à grands pas vers un monde de plus en plus chaud. Ce réchauffement va avoir des conséquences dramatiques pour, tout d'abord, les populations les plus fragiles du globe et, à terme, pour l'ensemble de l'humanité.

Pour limiter les dégâts, il faut diminuer la consommation énergétique liée aux déplacements et en particulier celle effectuée par les voitures. En 2007, le gouvernement de Tony Blair s'est attaqué au problème avec un projet intitulé la carte carbone. L'idée était d'attribuer à chaque individu un quota de droits d'émissions de CO_2*. Ce quota couvrait les achats d'énergie primaire (l'électricité, le gaz et le fioul pour la maison), les pleins d'essence et les billets d'avion. Dans ce dispositif, la quantité de droits d'émissions diminuait d'année en année afin de respecter les engagements climatiques du pays. Les quotas individuels devenaient donc de plus en plus petits. Si cette politique n'a pas été mise en œuvre à cause de la crise financière de 2008, c'est une piste pour gouverner dans un monde aux ressources finies. Même si elles sont souvent mal acceptées, les politiques de rationnement garantissent le partage. Elles s'opposent au marché qui distribue les biens rares de manière inégalitaire.*

On est donc en droit de penser que cette idée sera reprise un jour. On assistera peut-être alors à des trocs de bons de transport et on appliquera des sanctions pour ceux qui dépassent leurs quotas. Outre le réchauffement climatique, les gouvernements vont être confrontés au vieillissement de la population. Les plus de 65 ans devraient représenter près de 17 % des habitants de la planète d'ici 2050 contre 8,5 % actuellement. Face à ces deux problèmes, des ministères décloisonnés imagineront peut-être des dispositifs de « silver écologie ». Ils contribueront en même temps à la diminution d'émission de CO_2 *et au soutien des personnes âgées.*

DIMANCHE EN PENTE ZÉBRÉE prend de l'avance en envisageant ce futur.

Charlie a explosé son quota transport. Pour récupérer des bons, il doit passer plusieurs dimanches avec Delphine, une ancienne. Le jeune homme découvre qu'il ne faut pas prendre les vieux pour des zèbres sans rayures.

– Bonjour, Madame. Je suis content de vous rencontrer. J'aime bien les vieux, dit Charlie.

– Ça tombe bien, car moi j'aime bien les zèbres, réplique Delphine.

Charlie déplie son long corps et fronce les sourcils. Ce n'est pas son jour de chance. Pour la récupération de ses points transport, il est tombé sur une vieille qui a le cerveau grillé.

– Ma grand-mère aime aussi les zèbres, dit Charlie. Elle pense que les hommes sans culture sont comme les zèbres sans rayures… Zèbres sans rayures… Vous voyez ?

– Jeune Charlie, sais-tu que les zébrures des zèbres ont un effet thermorégulateur, répond Delphine. Comme les bandes noires et les blanches ne reçoivent pas la chaleur de la même façon, cela crée un courant d'air. Cette climatisation naturelle permet au zèbre de brouter de longues heures en plein soleil… Au fait, pourquoi aimes-tu les vieux ?

Charlie soupire. La vieille radotait tranquille et voilà qu'elle pose la

question qui tue. Il ne va tout de même pas lui dire qu'il apprécie les vieux parce qu'ils ressemblent plus à des vaches qu'à des zèbres. Ils passent leurs journées à brouter dans un fauteuil, leur consommation énergétique est faible et ils s'ennuient. Il suffit donc de deux sourires pour les délester de leurs bons de transport.

– J'aime les vieux parce qu'ils ne sont plus jeunes, finit-il par dire.

– Et bien entendu, il faut que vieillesse se passe !

Charlie se pince le nez, se gratte la tête. Ses mouvements trahissent une furieuse envie de s'insurger. Quand ses copains font des stages pour récupérer leurs points, ils tombent toujours sur des vieux qui roupillent et, au pire, regrettent le bon vieux temps.

– Non, non, pas du tout… J'aime… J'aime… J'aime bien les vieux parce qu'on est tous le vieux d'un jeune et le jeune d'un vieux, bafouille Charlie.

Delphine semble s'amuser des troubles du jeune homme.

– Donc, résumons. Le gouvernement a deux problèmes sur les bras. Le premier est le vieillissement de la population. Le deuxième, c'est la nécessité de limiter la consommation énergétique. Nos technocrates étant des petits malins, ils veulent régler les deux problèmes en même temps. Ils secouent le cocotier des solutions et trouvent un concept, la « silver énergie ». Résultat, comme tu as fait exploser ton quota énergétique, tu dois m'accompagner pendant trois dimanches pour remettre le compteur à zéro.

– Les quotas énergétiques, c'est l'enfer pour un jeune. On bouge le petit doigt et hop, on perd des points.

– On dira plutôt que tu as la bougeotte. Je vois sur ton compteur d'énergie que la semaine dernière, tu as été trois fois à Saint-Quentin-en-Yvelines dont deux en voiture !

– Saint-Quentin-en-Yvelines, c'est la banlieue, dit Charlie. Avant, des milliers de personnes y travaillaient tous les jours.

– Tu penses sans doute que c'était le bon temps. Interroge ta grand-mère. Elle te dira combien hier on se plaignait de perdre du temps dans les transports.

– Oui, oui… Mais les jeunes ne peuvent pas s'en sortir avec les quotas de transport. On travaille à distance, mais il faut bien qu'on rencontre nos collègues et nos patrons. Il ne nous reste plus rien pour nous. Nous sommes des hamsters qui tournent en rond dans leur cage. Nous sommes une génération empêchée de bouger, de voyager, de vivre. À cause des dégâts que vous avez faits à la planète, nous sommes condamnés à l'immobilisme.

Delphine claque des doigts. Des zèbres s'affichent sur les murs de son salon. Un journaliste explique que le zèbre est le seul équidé que l'homme ne peut apprivoiser.

– Mais, Madame… On discute et vous vous mettez à regarder un reportage, dit Charlie visiblement offusqué. Cela ne se fait pas.

– Jeune homme, ce qui se fait et ne se fait pas, ce n'est plus de mon âge, rétorque Delphine. J'attends juste que tu arrêtes de te lamenter sur ton sort. Aujourd'hui, il y a des quotas énergétiques à respecter pour limiter le réchauffement climatique.

C'est comme cela, alors pas besoin d'en discuter des heures durant. En prime, ces quotas ont du bon.

– Là, vous exagérez…

– Pas du tout. Ils obligent à ralentir et à regarder autour de soi. Cette lenteur redonne le temps de vivre. Grâce à eux, nous avons arrêté de courir après notre ombre.

Charlie écarquille les yeux, ouvre la bouche. On lui aurait dit que le soleil avait décidé de ne pas se lever, il serait moins étonné. C'est la première fois qu'il entend quelqu'un lui dire que les quotas peuvent avoir un aspect positif. Et c'est une vieille qui a connu la vie sans quota qui s'y colle.

Delphine laisse Charlie ruminer quelques minutes avant de reprendre la parole :

– Pour les dimanches, j'ai mes habitudes. On ira tout d'abord faire des courses.

– Je, je, je… suis phobique des magasins, répond Charlie. C'est cela, phobique. Dès que je suis dans un magasin, je tombe dans les pommes.

– Jeune homme, un peu d'honnêteté. Dis plutôt que tu t'actives pour qu'on interdise aux vieux d'aller dans les magasins le dimanche. J'ai vu tes faits de guerre sur le Net. Tu as développé une application pour coincer les exosquelettes des séniors qui s'aventurent à faire leurs courses le dimanche.

– Ils peuvent faire leurs courses tous les autres jours de la semaine, bredouille Charlie.

– Ils peuvent aussi choisir ce jour-là pour rencontrer des jeunes et ne pas se contenter d'une vieille vie entre vieux.

Charlie pâlit. Avec la guigne qui le caractérise, on va le photographier au bras d'une vieille un dimanche en train de faire les courses. Sa réputation va en prendre un coup.

– Après, nous irons faire un tour en voiture autonome avec des copines.

– Vous allez griller des bons de transport pour discuter avec des amies ?

– Il faut bien qu'on dépense nos bons ! Tu verras, les aventures des vieilles « augmentées » sont palpitantes. Nous parlons de nos hanches plastiques qui, avec le temps, deviennent molles, de nos implants qui rouillent, de nos capteurs qui fatiguent.

À l'issue de l'entretien, Charlie est tellement déboussolé qu'il part en courant, arrive on ne sait pas pourquoi à Saint-Quentin-en-Yvelines, n'a pas la force de revenir à pied, prend un Uber, explose une fois de plus son quota transport. Pour remettre les compteurs à zéro, il doit passer les dix prochains dimanches avec Delphine.

Comme la vie est imprévisible, Charlie découvre que ce qu'il envisageait comme un cauchemar n'en est pas un.

Le dimanche suivant, Delphine et Charlie ne font ni courses, ni promenade en voiture autonome avec des vieilles augmentées. Ils discutent de la vie, de l'amour et de la mort et autres broutilles qui encombrent nos existences.

Le dimanche suivant la fin de la peine de Charlie, Delphine ouvre la porte et voit le jeune homme qui lui dit :

– Bonjour, Madame, je suis content de vous rencontrer. J'aime bien les vieux.

– Ça tombe bien, moi j'aime bien les zèbres.

Ce dialogue absurde les fait éclater de rire. Depuis, il ne passe pas une semaine sans que Delphine trouve Charlie devant sa porte. Quand il repart, elle n'oublie jamais de lui glisser des bons de transport dans la poche.

Et si à l'inverse, on disposait d'une énergie gratuite, non polluante et illimitée ?

Depuis des lustres, les chercheurs rêvent de trouver une énergie abondante, propre et gratuite. Ils explorent différentes pistes et envisagent les idées les plus folles, pour l'instant en vain. Mais vu l'avancée de leurs travaux, c'est peut-être pour demain.

Si c'est le cas, cette énergie transformera nos vies. Passerons-nous notre temps à voyager pour consommer cette énergie ? Les coins les plus reculés du monde seront-ils pollués par ces nouveaux voyageurs ? Est-ce qu'on va assister à un monde à deux vitesses avec d'un côté ceux qui veulent vivre le mouvement perpétuel et de l'autre ceux qui défendent l'immobilisme ?

Trente secondes plus tôt, la capsule de Gunter était un petit point dans le ciel. En un éclair, elle a atterri, roulé à vive allure et s'est arrêtée à deux mètres du fauteuil en cuir pleine fleur de Paulus.

Le capsulonaute ouvre la porte et descend.

– Bonjour, je suis Gunter Sixt. J'ai rendez-vous pour la révision de ma capsule. Quand pensez-vous avoir fini ?

Paulus esquisse un large sourire.

– Tout ce que je peux vous dire pour l'instant, c'est que j'aurais fini le boulot après l'avoir commencé.

– Il n'y en a certainement pas pour longtemps. Ma capsule est en auto-réparation robotisée.

– À voir, répond Paulus. J'aime prendre mon temps pour ne pas le perdre à recommencer.

Il n'en faut pas plus pour que le visage de Gunter se décompose. Depuis que l'énergie est libre, gratuite, abondante, il bouge en permanence. Il vit les arrêts comme un calvaire.

– Hé l'ami, asseyez-vous, je vais vous préparer un café, dit Paulus.

– Vous ne commencez pas de suite ? balbutie Gunter.

– Installez-vous et écoutez. Quand la cafetière commencera à siffler, vos narines vont frétiller de plaisir.

– Je ne prends pas de café.

– Ne me dites pas que vous avez opté pour l'implant café qui régule votre dose de caféine.

– Ça aide à rester réveillé. Monsieur Paulus, je suis pressé. Il faut absolument que je sois à New York ce soir.

Paulus sourit. Les bougeux, il faut toujours qu'ils soient partis avant d'être arrivés. Le coup de la cérémonie du café, il leur fait systématiquement. Le temps de verser un café dans une tasse, un sur deux est reparti à l'autre bout du monde. Leur départ lui laissant un peu de temps libre, il s'amuse alors de la folie qui s'est emparée du monde avec l'arrivée d'une énergie gratuite et non polluante.

Alors que la cafetière est toujours silencieuse, Gunter a l'impression que la terre s'est arrêtée de tourner et que tous ses habitants ont été pétrifiés. On l'avait prévenu. Paulus

est un excellent capsuleriste. Avec lui, on peut faire plus de 5 millions de kilomètres sans avoir le moindre problème. En revanche, il faut faire preuve d'une exceptionnelle patience. L'homme est un « resteur ». Il peut passer des semaines, voire des mois sans aller au bout du monde.

– Eh bien, vous êtes un vrai mangeur de distance ! dit Paulus quand il a enfin terminé sa pause café.

– Je suis un ultratripeur. Hier, j'étais dans les rizières en plateau des Philippines. C'était très beau. Si vous dites « Banaue », vous aurez les photos qui s'affichent dans la capsule.

Paulus ne répond rien. Il n'a aucune envie de se polluer l'esprit en partageant l'agitation chronique de ses clients.

– Vous ne l'avez pas ménagé votre engin ! Toutes les datas sont comprimées. À force, votre intelligence artificielle est devenue une triple buse.

– Je participe à l'ultratrip… L'ultratrip, la grande compétition mondiale ! insiste Gunter.

L'ultratrip consiste à parcourir le maximum de distance sur terre, mer et dans les airs pendant 999 jours sans jamais aller au même endroit. Les participants vivent dans leur capsule et s'arrêtent juste pour prendre une photo. C'est incontestablement l'événement phare de la société post-miracle énergétique.

– Ultratrail, ultratrip, ultraflip, ultraflop… Je m'y perds dans vos ultra

– Vous ne connaissez pas l'ultratrip ? C'est incroyable. Tout le monde ne parle que de cela.

– Désolé l'ami, je ne suis pas tout le monde. Je suis juste moi.

Gunter a un rire nerveux. L'échange confirme que les resteurs sont très nombrilistes. En arrêt sur image sur le passé, ces culs vissés ne s'intéressent qu'à eux-mêmes.

– Comment pouvez-vous ne pas aimer les voyages alors que vous réparez les plus belles capsules du pays ? demande Gunter.

– J'aime les voyages intérieurs. Ils ont de belles mécaniques avec des rouages complexes.

Gunter soupire. Il y a donc encore sur cette terre des ringards qui croient que les cuisines de leurs tripes à la mode d'eux-mêmes sont plus intéressantes que la découverte du monde.

– Vous, les « resteurs », vous nous amusez avec vos voyages intérieurs. Quand on vit avec son temps, on aime sortir de son cadre pour inventer un autre monde.

– Vous, les bougeux, vous nous amusez avec vos voyages extérieurs. Vous vous déplacez pour vous déplacer, répond Paulus. Le voyage n'a pas d'intérêt, la destination non plus.

– La vie, c'est le mouvement. Si on ne bouge pas, on est mort. C'est scientifique. $E = mc^2$. L'énergie est liée au carré de la vitesse.

– L'immobilité est le plus beau mouvement de l'homme.

– La vitesse est sa plus belle conquête.

– Qui va lentement arrive aussi.

Paulus et Gunter ont été bons élèves. Ils ont effectué l'échange classique entre resteurs et bougeux. On peut l'entendre à tous les coins de la planète. Le miracle énergétique a partagé l'univers en deux groupes

qui ne se comprennent pas, mais qui ont souvent besoin l'un de l'autre.

Après cette joute verbale, les deux hommes reviennent à leur actualité : la révision de la capsule de Gunter.

– Il y a du boulot. Je vais en avoir pour un jour… et un autre.

– Deux jours ! dit Gunter en s'étranglant. Comment vais-je faire ? Il n'y a rien ici.

– Rien ? Il y a des chênes centenaires, une vue imprenable, de l'herbe verte, une rivière poissonneuse, des couchers de soleil renversants, des sangliers taquins, un feu enflammé !

Gunter ne répond rien. Il vit cet arrêt obligé comme un emprisonnement. Il contacte ses proches pour conter son désastre. Quand il a enfin raccroché, il croise le regard de Paulus qui lui dit :

– Allez, l'ami, il est l'heure du repos du guerrier. On va chez moi. J'habite dans un village de la vallée.

– On y va comment ? demande Gunter en ne voyant pas de véhicule.

– À pied. Nos jambes sont des engins géniaux. Quand elles touchent terre, on n'avance ni trop vite ni trop lentement.

Au début de la soirée, Gunter continue à se sentir enfermé dans la pire des geôles. Il suffoque, croit qu'il va mourir toutes les minutes.

Et puis, les enfants de Paulus l'interrogent sur l'ultratrip. Ils veulent tout savoir sur cette compétition. Ils n'osent pas le dire devant leur père, mais ils aimeraient parcourir le monde[F1] comme tout le monde.

Et puis, la femme de Paulus prend la guitare pour raconter la voûte céleste. Il apprécie, cela fait si longtemps qu'il n'a pris le temps de la regarder.

Et puis, le vin est bon et coule à flots.

Et puis, Paulus et Gunter s'accordent sur le fait que le miracle énergétique a du bon pour tous. Les combats pour l'énergie ont cessé. Les pays qui possèdent du pétrole et autres énergies fossiles n'imposent plus leurs diktats. Les déplacements renforcent les liens et suppriment les clichés dus à une non-connaissance de l'autre. Et du mauvais aussi. Le patrimoine naturel a été massacré par ces déplacements faciles. Rares sont les coins de la planète qui ont été préservés.

Et puis, Paulus interroge Gunter sur sa famille.

– Avec ton ultratrip, tu ne vois jamais ta femme et tes enfants. Cela doit te manquer ?

– On s'envoie des messages, on s'appelle. Même loin, on peut être très proches.

– Proches, on peut l'être encore plus.

– Peut-être, je ne sais pas, dit Gunter en hochant la tête.

Un mois plus tard, Paulus reçoit un message de Gunter qui dit : « Tu as raison. Proches, nous sommes vraiment plus proches. Je suis dans ma famille au bord de la mer. Venez nous voir. Ma famille sera ravie de faire votre connaissance. »

Les enfants de Paulus ont su convaincre leur père de répondre à l'invitation. Depuis, chaque mois, les deux familles partent ensemble en voyage. Loin des ultratrips, ils prennent le temps de découvrir un lieu et d'échanger avec la population locale.

Partie 5 –

Quelle éthique de l'IA ?



L'intelligence artificielle affecte désormais tous les aspects de nos vies sociales. Sans toujours le savoir, nous interagissons quotidiennement avec des systèmes intelligents qui optimisent nos déplacements, créent nos playlists favorites ou protègent nos boîtes électroniques des courriels indésirables. Ils nous servent de manière invisible. C'est du moins l'objectif qu'on leur assigne : rendre nos vies meilleures, tâche par tâche.

Les progrès récents de l'IA dans de nombreux domaines (voitures autonomes, reconnaissance d'images, assistants virtuels) et son influence croissante sur nos vies l'ont placée au centre du débat public. Ces dernières années de nombreuses voix se sont interrogées sur la capacité de l'IA à réellement œuvrer pour notre bien-être et sur les dispositions à prendre pour s'assurer que cela soit le cas.

Ce débat a principalement pris la forme d'une large réflexion sur les enjeux éthiques liés au développement des technologies d'intelligence artificielle et plus largement des algorithmes. En différents endroits du monde, experts, régulateurs, universitaires, entrepreneurs et citoyens discutent et échangent régulièrement sur les effets indésirables, actuels ou potentiels de ceux-ci et les moyens de les atténuer.

Placées sous la nécessité d'articuler les potentialités offertes par ces technologies avec le respect de nos valeurs et normes sociales, ces discussions ont logiquement puisé dans le vocabulaire de l'éthique. Elles ont investi l'espace disponible entre ce qui est rendu possible par l'IA et ce qui est permis par la loi pour discuter de ce qui est souhaitable. Or, l'éthique est précisément cette branche de la philosophie qui se consacre exclusivement à l'étude de cet espace en tentant de distinguer le bien du mal, l'idéal vers lequel tendre et les chemins qui nous en éloignent.

En outre, loin des considérations purement spéculatives sur les menaces existentielles de l'IA pour l'humanité, les réflexions se sont cristallisées autour des algorithmes du « quotidien » : ceux qui organisent nos fils d'actualité, guident nos décisions d'achats ou déterminent nos programmes d'entraînement sportif. En 2017, Kate Crawford, Cathy O'Neil et bien d'autres n'ont eu de cesse de rappeler que nous ne sommes pas tous égaux devant ces algorithmes et que leur partialité a des réelles conséquences sur nos vies. Chaque jour, dans une grande opacité, ils affectent notre accès à l'information, à la culture, à l'emploi ou encore au crédit.

Loin des considérations purement spéculatives sur les menaces existentielles de l'IA pour l'humanité, les réflexions se sont cristallisées autour des algorithmes du « quotidien »

Par conséquent, si nous souhaitons faire émerger des technologies d'IA conformes à nos valeurs et normes sociales, il faut agir dès à présent en mobilisant la communauté scientifique, les pouvoirs publics, les industriels, les entrepreneurs et les organisations de la société civile. Notre mission a cherché, modestement, à proposer quelques pistes permettant de poser les bases d'un cadre éthique pour le développement de l'IA et à faire vivre ce débat dans la société. Elles reposent sur cinq piliers :

En premier lieu, il faut accroître la transparence et l'auditabilité des systèmes autonomes d'une part, en développant les capacités nécessaires pour observer, comprendre et auditer leur fonctionnement et, d'autre part, en investissant massivement dans la recherche sur l'explicabilité.

Ensuite, il faut adapter la protection des droits et des libertés au regard des abus potentiels liés à l'utilisation des systèmes d'apprentissage machine. Or, il s'avère que la législation actuelle, centrée sur la protection de l'individu, n'est pas en phase avec la logique introduite par ces systèmes – c'est-à-dire l'analyse d'une masse considérable d'information afin d'identifier des tendances et des comportements masqués – et leurs effets sur des groupes d'individus. Pour combler ce décalage, il est nécessaire d'agir en créant des droits collectifs sur les données.

La loi ne peut pas tout, entre autres car le temps du droit est bien plus long que celui du code

Parallèlement, il faut s'assurer que les organisations qui déploient et utilisent ces systèmes demeurent responsables devant la loi des éventuels dommages causés par ceux-ci. Si les modalités de ce régime de responsabilité restent à définir, la loi informatique et libertés (1978) et le RGPD (2018) en posent déjà les principes.

Toutefois, la loi ne peut pas tout, entre autres car le temps du droit est bien plus long que celui du code. Il est donc essentiel que les « architectes » de la société numérique – chercheurs, ingénieurs et développeurs – qui conçoivent et commercialisent ces technologies prennent leur juste part dans cette mission en agissant de manière responsable. Cela implique qu'ils soient pleinement conscients des possibles effets négatifs de leurs technologies sur la société et qu'ils œuvrent activement à les limiter.

De plus, compte tenu de l'importance des problématiques éthiques pour les développements futurs de l'IA, il convient de créer une véritable instance de débat, plurielle et ouverte sur la société, afin qu'on puisse déterminer de manière démocratique quelle IA nous souhaitons pour notre société.

Enfin la politisation des enjeux liés à la technologie en général et à l'IA en particulier est rendue chaque jour plus nécessaire, au vu de l'importance que celle-ci prend dans nos vies. À cet égard, la future *Chambre du futur* annoncée par le Président de la République dans le cadre de la réforme du Conseil économique, social et environnemental (CESE) devra faire toute sa place à un débat proprement politique sur l'intelligence artificielle et ses conséquences.

Ouvrir la boîte noire

Une grande partie des considérations éthiques soulevées par l'IA tiennent à l'opacité de ces technologies. En dépit de leur performance accrue dans de nombreux domaines, de la traduction à la finance en passant par l'automobile, il est souvent très difficile d'expliquer leurs décisions de manière intelligible par le commun des mortels. C'est le fameux problème de la boîte noire : des systèmes algorithmiques dont il est possible d'observer les données d'entrée (*input*), les données de sortie (*output*) mais dont on comprend

mal le fonctionnement interne (*voir encadré*). Cette méconnaissance est principalement due aujourd'hui au changement de paradigme introduit par l'avènement de l'apprentissage, en particulier l'apprentissage profond. En programmation classique, construire un système intelligent consistait à écrire à la main un modèle déductif, c'est à dire des règles générales, dont on infère les conclusions pour le traitement d'un cas particulier. De tels modèles sont par définition explicables dans la mesure où les règles qui déterminent leurs prises de décisions sont établies à l'avance par un programmeur, et qu'on est capable de dire quelles règles ont été activées pour aboutir à la conclusion dans chaque cas particulier (par exemple, si vos revenus sont inférieurs à tant par mois, le prêt vous sera refusé).

Expliquer les décisions des systèmes d'apprentissage

La technique d'apprentissage machine la plus efficace aujourd'hui, les réseaux de neurones profonds (*Deep Learning*), ne s'appuient pas sur des règles établies par avance. Pour prendre le cas de la reconnaissance d'image, admettons que l'on souhaite développer un algorithme qui classe automatiquement des photos de chats et de chiens ; les données à traiter sont des images données sous forme de tableaux de pixels, et il est virtuellement impossible d'écrire à la main un programme suffisamment robuste pour classer toutes les images avec un grand degré d'exactitude à partir des valeurs pixel par pixel.

L'explicabilité des systèmes à base d'apprentissage constitue donc un véritable défi scientifique

En l'état actuel de l'art, l'explicabilité des systèmes à base d'apprentissage constitue donc un véritable défi scientifique qui met en tension notre besoin d'explication et notre souci d'efficacité. Et si certains modèles d'apprentissage sont plus explicables que d'autres (systèmes à base de règles, arbres de décision simples, réseaux bayésiens), ils ont en général aujourd'hui des performances inférieures à celles des algorithmes d'apprentissage profonds.

Ce que l'on ne comprend pas en matière de *deep learning*

Les réseaux de neurones et les techniques relevant de l'apprentissage profond sont couramment dénoncés comme des boîtes noires pour leurs utilisateurs. Cette affirmation est également valable pour un grand nombre d'autres techniques d'apprentissage, que l'on parle de Machines à Vecteur Support ou de forêts aléatoires, la version opérationnelle des arbres de décision. La raison n'est pas tant intrinsèque à la nature du modèle utilisé, mais réside plutôt dans l'incapacité à décrire de façon intelligible le résultat produit sur chaque nouveau cas, et en particulier à pointer les caractéristiques les plus importantes du cas en question ayant conduit au résultat produit.

Cette incapacité est en grande partie due à la dimension des espaces dans lesquelles évoluent les données, particulièrement cruciale dans le cas de l'apprentissage profond. Par exemple, pour la reconnaissance d'images, un réseau profond prend en entrées des images décrites par des milliers de pixels (4K) et apprend typiquement des centaines de milliers, voire des millions, de paramètres (poids du réseau), qu'il utilise ensuite pour classer les images inconnues. Il est donc presque impossible de suivre le

cheminement de l'algorithme de classement, qui met en jeu ces millions de paramètres, jusqu'à sa décision finale. Si pour une image, l'importance de cette explicabilité semble relativement faible, c'est beaucoup plus crucial pour l'attribution d'un prêt, par exemple.

À long terme, l'explicabilité de ces technologies est l'une des conditions de leur acceptabilité sociale. S'agissant de certains sujets, c'est même une question de principe : on ne peut admettre, en tant que société, que certaines décisions importantes puissent être prises sans explication. En effet, sans possibilité d'expliquer les décisions prises par des systèmes autonomes, il apparaît difficile de les justifier. Or, comment accepter l'injustifiable dans des domaines aussi décisifs pour la vie d'un individu que l'accès au crédit, à l'emploi, au logement, à la justice ou à la santé ? Cela paraît inconcevable.

Équité, biais et discriminations

L'opacité de ces technologies est d'autant plus préoccupante qu'elle peut masquer l'origine des biais constatés, sans qu'on puisse par exemple dire s'ils proviennent de l'algorithme ou des données ayant servi à l'entraîner… ou des deux. On constate par exemple que les algorithmes de ciblage publicitaire de Google sont plus susceptibles de proposer aux femmes des offres d'emploi moins rémunérées, que les algorithmes de modération de YouTube tardent parfois à réagir et permettent la circulation virale de contenus choquants, ou encore que les algorithmes de prédiction de la criminalité favorisent une surveillance accrue des quartiers pauvres afro-américains. De fait tous ces algorithmes ne font que reproduire les discriminations déjà présentes dans les données qu'on leur fournit. Mais ces constatations suscitent des craintes légitimes, et si nous tardons à agir, on risque d'observer une défiance généralisée de l'opinion publique à l'égard de l'IA, qui à terme est susceptible de freiner son développement, y compris dans ce qu'il pourrait avoir de bénéfique.

Le droit interdit les discriminations basées sur une liste limitative de critères en matière d'emploi, de logement, d'éducation et d'accès aux biens et services. Dans ces cas, on considère que peut constituer une discrimination une disposition, un critère ou une pratique neutre en apparence mais susceptible d'entraîner un désavantage particulier pour des personnes par rapport à d'autres personnes, à moins que cette disposition, ce critère ou cette pratique ne soit objectivement justifié par un but légitime et que les moyens pour réaliser ce but ne soient nécessaires et appropriés.

L'utilisation d'algorithmes d'apprentissage profond, qui se nourrissent de données aux fins de personnalisation et d'aide à la décision, a fait émerger la crainte d'une reproduction des inégalités sociales dans l'algorithme de décision. L'essentiel des controverses récentes en la matière concerne en effet des discriminations à l'égard de certaines minorités ou fondées sur le genre (personnes noires, femmes, habitants de quartiers défavorisés notamment). L'expérience américaine a aussi apporté plusieurs exemples d'effets discriminatoires similaires en matière de prévention pénale.

À mesure que les systèmes intégrant des technologies d'IA envahissent notre quotidien, nous attendons légitimement qu'ils agissent conformément à nos

lois et normes sociales. Il est donc essentiel que le droit et l'éthique régissent le comportement des systèmes d'IA. Comme nous sommes incapables aujourd'hui de garantir *a priori* le comportement d'un système d'apprentissage (la certification formelle de l'apprentissage est encore aujourd'hui un objet de recherche), le respect de cette exigence nécessite le développement procédures, outils et méthodes permettant d'auditer ces systèmes afin d'en évaluer la conformité à notre cadre juridique et éthique. C'est aussi nécessaire en cas de litige entre différentes parties mettant en cause les décisions prises par des systèmes d'IA.

À ce jour, ces capacités, même *a posteriori*, sont quasi inexistantes, et ce pour diverses raisons. En premier lieu, les techniques d'apprentissage profond sont encore trop opaques (voir plus haut) et leur protocole d'audit encore balbutiants. Ensuite, les entreprises qui ont investi des sommes conséquentes dans la construction de leurs systèmes algorithmiques et tiennent à en recevoir les fruits, sont nécessairement réticentes à voir leur propriété intellectuelle divulguée à des tierces parties. La possibilité d'obtenir des comptes quant aux décisions automatisées est en ce sens limitée par un certain nombre d'obstacles juridiques, tels que la protection de la propriété intellectuelle et du secret des affaires, la protection des données personnelles, la préservation du secret entourant nécessairement un certain nombre d'actions d'ordre régalien et de préservation de la sécurité et de l'ordre public. Il existe dès lors un besoin général de configurer une fonction tampon entre les sphères du secret et de l'information légitime.

À mesure que les systèmes intégrant des technologies d'IA envahissent notre quotidien, nous attendons légitimement qu'ils agissent conformément à nos lois et normes sociales

Développer l'audit des IA

Constituer une fonction assermentée d'audit des algorithmes

La constitution d'un corps d'experts dotés des compétences requises semble nécessaire pour procéder à des audits d'algorithmes et de bases de données sur pièce, et procéder à des tests par tout moyen requis. À l'instar du changement de paradigme de régulation ayant eu lieu en concurrence puis en matière de protection des données, cette recommandation se place dans une logique d'action *a posteriori*. De telles obligations seront le cas échéant formulées par les instances de régulation sectorielles ou pour des domaines spécifiques.

Cette recommandation répond au besoin spécifique d'audits certifiés ayant force probante, en matière de procédure contentieuse. Pour vérifier une suspicion ou les dires d'une partie, les seules observations externes du comportement des algorithmes ou de leurs effets ne pourront suffire pour constituer des éléments recevables dans un grand nombre de cas. Que ce soit à l'occasion d'une enquête judiciaire ou de celle d'une autorité administrative indépendante (AAI), il pourra être nécessaire de vérifier sur pièce. Il n'est pas toujours nécessaire, utile ou même possible de tirer des conclusions à partir de l'examen d'un code source. Ces auditeurs pourraient se contenter

de tester l'équité et la loyauté d'un programme (faire exclusivement ce qu'il est censé faire), par exemple en soumettant de multiples fausses données d'entrées, à créer de très nombreux profils d'utilisateurs du système suivant des caractéristiques précises… Par exemple, pour tester l'équité d'un site de recrutement par rapport au genre, il faut pouvoir soumettre de très nombreux CV de femmes et d'hommes au même parcours professionnel, et qui par ailleurs sont représentatifs de l'ensemble des demandeurs d'emploi ciblés par le site. On observe en sortie les demandes d'interview accordées, ou les salaires moyens proposés, etc. Le fournisseur du système pourrait être contraint à ouvrir une API particulière permettant de tester son programme sur des masses d'utilisateurs artificiels (qui seraient d'ailleurs éventuellement générés par des programmes d'IA).). Bien sûr, on aura à cœur de déjouer la fraude qui consisterait, pour l'entreprise contrôlée, à mettre à disposition des enquêteurs une version différente de celle qui est employée sur le terrain. Le récent scandale des automobiles programmées pour frauder aux tests de contrôle d'émission de CO_2 doit nous inciter à mettre de côté toute naïveté.

En termes de saisine, les besoins identifiés se situent à deux niveaux distincts : une fonction première d'expertise mobilisable en justice ou dans le cadre d'enquêtes diligentées par des autorités administratives indépendantes ; une deuxième fonction suite à une saisine du Défenseur des droits.

Développer l'évaluation citoyenne des IA

La capacité d'évaluation et d'audit des IA ne peut être réservée à un organe public, mais doit aussi provenir de la société civile. C'est d'ailleurs déjà la mission que se sont fixée un grand nombre d'associations. Les pouvoirs publics se doivent de soutenir ces capacités. Pour ce faire, il s'agit d'anticiper la question des barrières financières d'accès aux moyens permettant aux organes de défense d'intérêts civils et au journalisme de continuer à jouer efficacement leur rôle de vigie dans une époque numérisée. À titre indicatif, *Propublica*, média d'investigation de référence en matière de libertés numériques, et financé à hauteur de 20 millions de dollars par la fondation Soros, dispose de cinq experts de haut niveau à temps plein, développeurs issus d'entreprises technologiques et/ou post docs des meilleures universités, d'équipes de développement support, et de nombreux soutiens académiques. Il est difficile d'identifier pareils moyens dans le paysage français associatif ou du journalisme, *a fortiori* en matière d'apprentissage automatique.

La capacité d'évaluation et d'audit des IA ne peut être réservée à un organe public, mais doit aussi provenir de la société civile

Dès lors, il s'agit *a minima* de rendre les courroies de transmission plus fluides entre les autorités, la recherche, et la société civile, en pérennisant des fonctions de médiation dédiées à l'accompagnement de projets qui visent à mobiliser l'IA pour la compréhension des discriminations.

Un des enjeux principaux pour faire de l'audit citoyen est d'avoir accès à des données, qui sont souvent détenues par des acteurs privés. Il existe aujourd'hui des initiatives volontaires de la part de ces acteurs, comme

Google, qui consiste en une mise à disposition de données pour l'étude des questions de genre ou une meilleure compréhension des phénomènes de non-recours aux droits par exemple.

En parallèle à ces démarches volontaires de mise à disposition de données, un accompagnement spécifique pourrait être mis en place à destination des structures qui ne sont pas équipées pour y accéder (en termes de capacité de sécurisation des données par exemple…). Le financement des résidences ou la constitution d'accélérateurs de projets (accompagnement scientifique, ingénierie, juridique, etc.) pourraient être pensés à cette fin, sous l'égide d'une structure dont l'indépendance est assurée. À cet égard les actions menées aux États-Unis par les structures *Team Up Turn*, *Propublica* ou l'*Electronic Frontier Foundation* peuvent servir d'exemples.

Au-delà de cet accompagnement pour l'accès aux données, un soutien aux procédures de test et de rétro-ingénierie pourrait être instauré. Ces procédures d'audit ne peuvent être réservées aux auditeurs publics. Pour soutenir un audit citoyen, des incitations à la mise à disposition par les citoyens eux-mêmes de données pour les chercheurs ou les associations de protection des droits sociaux et libertés pourraient être instaurées, afin d'aider à la constitution de différents profils, parcours d'utilisateurs… Utiliser les ressources de la portabilité citoyenne (voir la première partie du rapport) pourrait être une voie privilégiée.

Soutenir la recherche sur l'explicabilité

En matière numérique, les progrès scientifiques les plus notables résultent souvent d'une collaboration étroite entre pouvoirs publics, laboratoires de recherche et industriels. L'IA ne fait pas exception.

S'inspirer du programme DARPA « *Explainable AI* »

En août 2016, l'Agence américaine responsable des projets en recherche pour la Défense (DARPA) a lancé un appel à propositions destiné à soutenir la recherche sur l'explicabilité de l'IA. Identifié comme une priorité majeure pour le secteur de la défense, ce programme vise à financer le développement de systèmes d'IA explicables par construction. cette fin, il soutient trois axes de recherche : la production de modèles plus explicables. À cette fin, il soutient trois axes de recherche : la production de modèles plus explicables, la production d'interfaces utilisateurs plus intelligibles et la compréhension des mécanismes cognitifs à l'œuvre pour produire une explication satisfaisante.

Si le montant global du financement disponible n'a pas été rendu public, les premières informations disponibles sur les projets retenus (13 au total) laissent soupçonner que celui-ci se chiffre en plusieurs dizaines de millions d'euros. À elle seule, l'université d'État de l'Oregon a obtenu 5,2 millions d'euros sur trois ans pour le financement de 8 chercheurs en apprentissage automatique.

S'inspirant du programme *Explainable AI* de la DARPA, il apparaît urgent de soutenir la recherche sur l'explicabilité de l'IA en investissant les mêmes trois

axes de recherche : la production de modèles plus explicables, la production d'interfaces utilisateurs plus intelligibles et la compréhension des mécanismes cognitifs à l'œuvre pour produire une explication satisfaisante. Chacun de ces axes met en jeu des compétences variées – en informatique et mathématiques, bien sûr, mais aussi en *design*, en neurosciences, en psychologie – et met en évidence le besoin de collaboration interdisciplinaire : l'explicabilité n'est pas uniquement l'affaire des développeurs, mais engage la communauté scientifique dans son ensemble (voir également les recommandations de la deuxième partie de ce rapport).

Penser l'éthique dès la conception

Intégrer l'éthique dans la formation des ingénieurs et chercheurs en IA

Les techniques d'apprentissage automatique sont amenées à jouer un rôle majeur dans de nombreux domaines tels que l'industrie, le commerce, les services publics, la médecine ou encore l'éducation. Dès lors, les chercheurs, ingénieurs et entrepreneurs qui contribuent à la conception, au développement et à la commercialisation de systèmes d'IA sont amenés à jouer un rôle décisif dans la société numérique de demain. Il est essentiel qu'ils agissent de manière responsable, en prenant en considération les impacts socio-économiques de leurs activités. Pour s'en assurer, il est nécessaire de les sensibiliser, dès le début de leur formation, aux enjeux éthiques liés au développement des technologies numériques. Aujourd'hui cet enseignement est quasiment absent des cursus des écoles d'ingénieurs ou des parcours informatiques des universités, alors même que le volume et la complexité des problématiques éthiques auxquels ces futurs diplômés seront confrontés ne cessent de croître, au rythme des avancées très rapides de l'IA.

L'enseignement de l'éthique vise à transmettre aux futurs architectes de la société numérique les outils conceptuels pour identifier et confronter de manière responsable les problèmes éthiques et moraux rencontrés dans le cadre de leur activité professionnelle

Il est important d'expliciter l'ambition et la portée d'un tel enseignement pour dissiper quelques inquiétudes et cerner les attentes. Premièrement, l'éthique n'est pas réductible à une morale ou une doctrine particulière qu'il s'agit d'imposer aux étudiants pour en faire de « bonnes personnes ». Il ne s'agit pas non plus de donner des cours de conformité qui concernerait exclusivement le respect de toutes les dispositions législatives et réglementaires au sein des politiques d'entreprises. On attend déjà des informaticiens qu'ils respectent la loi. L'enseignement de l'éthique vise plutôt à transmettre aux futurs architectes de la société numérique les outils conceptuels pour identifier et confronter de manière responsable les problèmes éthiques et moraux rencontrés dans le cadre de leur activité professionnelle. En outre, compte tenu des implications concrètes des enjeux soulevés en matière de protection de la vie privée, de discrimination ou de propriété intellectuelle, ils doivent recevoir un enseignement pratique à même de faire le lien entre des théories normatives (déontologie) et leurs applications à des circonstances

particulières. Cette exigence s'avère d'autant plus nécessaire qu'une part conséquente des problématiques identifiées ne sont pas immédiatement appréhendables par le droit. En effet, que faire lorsque tel algorithme de recommandation enferme les utilisateurs dans de confortables bulles filtrantes, masquant la réalité d'un monde plus vaste et complexe ? Le programmeur doit-il œuvrer pour le pluralisme ? Dans un autre registre, le choix du meilleur candidat pour une offre d'embauche est-il réductible aux compétences certifiées par les établissements scolaires ou universitaires ? Dans ces cas où la norme est inexistante, muette ou insuffisante, la responsabilité morale du développeur est accrue. Loin d'apporter des réponses immédiates, l'enseignement de l'éthique est susceptible de déclencher un cercle vertueux où la formation de professionnels plus responsables conduit au développement de technologies plus responsables.

Quelle formation ? Pour parvenir à former des professionnels plus responsables, l'enseignement de l'éthique et plus largement des sciences sociales doit irriguer l'ensemble de la formation des ingénieurs et informaticiens. À terme, l'objectif est de produire des diplômés qui disposent des compétences techniques nécessaires pour développer des systèmes efficaces et des compétences en sciences sociales pour comprendre l'impact de leurs développements sur la société et ses citoyens. À partir de cette exigence, on peut concevoir différentes maquettes de formation. On peut mettre en place un système de majeure/mineure dans les établissements d'enseignement supérieur, qui permet aux étudiants de choisir une discipline principale, par exemple l'informatique (majeure) et une discipline secondaire telle que le droit (mineure).

Quid des juristes ? Nous ne pouvons pas laisser aux seuls chercheurs et ingénieurs la responsabilité de veiller à ce que les systèmes d'IA agissent conformément à la loi. Il est essentiel que les praticiens du droit prennent leur juste part dans cette mission. Cela nécessite au préalable une véritable prise de conscience au sein des professions juridiques et un rapprochement des différentes formations. Ici encore le système majeure/mineure donné en exemple ci-dessus pourrait être mis en œuvre en inversant les priorités : majeure de droit et mineure d'informatique.

Instaurer une étude d'impact sur les discriminations (discrimination impact assessment)

Dans un certain nombre de cas, les nouvelles règles européennes en vigueur imposent aux acteurs qui mettent en œuvre des traitements de données personnelles d'effectuer préalablement une étude d'impact quant à l'impact potentiel de ces activités sur les droits et les intérêts des concernés : c'est l'étude d'impact sur la vie privée (*privacy impact assessment*, ou PIA). De la sorte, les exploitants de données ont à charge d'évaluer eux-mêmes les impacts de cette activité, d'y apporter préventivement les correctifs requis, et de pouvoir justifier en cas de contrôle qu'ils ont mis en œuvre toutes les mesures nécessaires pour maîtriser l'ensemble du processus. Cet abandon du système d'autorisations préalables est un changement de paradigme important en faveur de l'agilité et des marges d'innovation laissées aux industriels. Il est recommandé de capitaliser sur cette logique qui fait du droit un soutien à l'innovation, en l'espèce en concrétisant un effort d'innovation en faveur de l'égalité à l'ère numérique.

Les lignes directrices adoptées par le groupement européen des autorités de protection des données (G29) demandent qu'un PIA soit effectué lorsqu'un risque de discrimination ou d'exclusion émerge avec un traitement de données. Cet axe central dans l'acceptabilité sociétale de l'IA doit faire l'objet d'une analyse à part entière. Il s'agirait d'accompagner le PIA d'un dispositif analogue pour les discriminations, un *discrimination impact assessment*, ou DIA, pour amener les concepteurs d'IA à s'interroger sur les conséquences sociales des algorithmes qu'ils produisent.

Une logique similaire à celle ayant conduit à la conception du logiciel libre mis à disposition par la CNIL pour aider les moins chevronnés à conduire leur auto-évaluation PIA pourrait présider au dispositif du DIA. La France pourrait ainsi faire la promotion d'un projet d'investissement commun – par l'entremise de l'UE ou sur la base de partenariats volontaires avec certains États membres – pour se doter de protocoles et de logiciels libres de droits en la matière. Un axe des investissements pourrait en particulier être dédié à l'ingénierie de projet (accompagnement juridique, opérationnel, facilitation de l'interface aux différentes autorités compétentes) pour l'implémentation des solutions identifiées par la recherche.

Penser les droits collectifs sur les données

Le développement de l'IA fait apparaître un certain nombre d'angles morts dans la législation actuelle – et future avec le RGPD – en matière de protection des individus. Ceux-ci découlent du fait que la loi Informatique et Libertés, comme le RGPD, ne traitent que des données à caractère personnel. Or, si la portée des protections offertes par ces textes est potentiellement très large, l'intelligence artificielle ne mobilise pas uniquement des données personnelles. Loin s'en faut : beaucoup de ces enjeux soulevés par les algorithmes constituent aujourd'hui un angle mort du droit.

Beaucoup de ces enjeux soulevés par les algorithmes constituent aujourd'hui un angle mort du droit

En effet, la législation sur la protection des données n'encadre les algorithmes d'intelligence artificielle que dans la mesure où ils se fondent sur des données à caractère personnel et où leurs résultats s'appliquent directement à des personnes. C'est le cas d'un bon nombre d'entre eux : offres personnalisées, recommandations de contenus,… mais, de fait, beaucoup d'usages échappent à cette législation, bien qu'ils recèlent des effets significatifs sur des groupes d'individus, et donc sur les personnes. Il a par exemple pu être démontré que les agrégats statistiques qui ont pu motiver d'envoyer des patrouilles de police ou des livreurs Amazon plus souvent dans tel ou tel quartier peuvent alimenter des effets discriminants sur certaines catégories de population, par un mécanisme de reproduction des phénomènes sociaux.

Au regard du développement de l'intelligence artificielle, on peut même se demander si la notion de données à caractère personnel peut tout simplement conserver un sens. Les travaux pionniers d'Helen Nissenbaum nous enseignent par exemple que les données sont des objets contextuels, qui peuvent renseigner simultanément sur plusieurs individus ou questions. Cela d'autant plus que, dans le cadre du *deep learning*, les données sont exploitées

à grande échelle pour produire des corrélations qui peuvent concerner des groupes d'individus. Chacun a le droit (sous certaines exceptions notables) d'être informé sur le sort d'une donnée qui le concerne dans des termes génériques (finalités, usages ultérieurs,…), voire de s'y opposer. Mais nous n'avons pas, ni en droit ni en fait, la possibilité de prescrire ou de proscrire des usages précis de nos données – excepté par l'acte de consommer ou non des services. Ce pouvoir reste aujourd'hui l'apanage du régulateur et du législateur, qui encadrent par exemple les motifs en fonction desquels on peut refuser l'accès à une offre de service, à un produit d'assurance, au logement, à un emploi, etc. Un individu peut donc être protégé de manière granulaire contre la collecte d'une information qui l'identifie, mais cette protection ne couvre pas la configuration réticulaire (en réseau) que toute information revêt.

Rendre l'action de groupe effective

Cela fait plusieurs années que l'Union européenne appelle la France à se doter d'un régime d'action de groupe plus ouvert et praticable. Plusieurs dispositions adoptées ces dernières années ont élargi et facilité l'accès aux procédures pour des groupes : en particulier, la Loi de modernisation de la justice du XXI^e^ siècle a ouvert une action de groupe « données personnelles » permettant aux associations de défense des consommateurs et de protection des données personnelles d'agir lors d'infractions à la législation existante.

Cette action de groupe est cependant particulièrement limitée car elle ne permet que la cessation de l'infraction concernée et non la réparation du préjudice causé. L'action de groupe peut être une procédure longue et coûteuse : en l'état, il paraît peu probable qu'une association puisse engager ce type de procédure. On peut par ailleurs imaginer le sentiment de frustration d'un utilisateur lésé, qui souhaite que l'on agisse en son nom devant la justice pour finalement obtenir… la cessation d'une infraction et aucune réparation en dépit de la reconnaissance de son statut de victime. Il est donc proposé d'intégrer, dans cette action de groupe, la réparation du préjudice subi.

Comment garder la main ?

Dopée par les progrès de l'intelligence artificielle, la révolution du *big data* contribue à rendre le monde plus transparent, plus quantifiable, mesurable à l'infini. Cette révolution est rendue possible par la conjonction de quatre facteurs : la baisse colossale du coût de traitement de l'information, l'avènement du web 2.0 et des contenus générés par les utilisateurs, la croissance exponentielle des données générées par les humains et les machines et des progrès spectaculaires en algorithmie. Cette soudaine abondance d'information est particulièrement bien accueillie par les organisations sensibles à la gestion du risque, publiques ou privées. Cette prédictibilité accrue leur permet d'anticiper plus efficacement la survenue d'incidents dommageables, et donc, d'agir de manière préemptive pour empêcher leur apparition ou du moins limiter leurs effets négatifs. Dans le secteur bancaire, il s'agit par exemple de mieux prédire les probabilités de défaut de paiement des emprunteurs et ainsi d'optimiser l'allocation du crédit en fonction de leur niveau de risque respectif. C'est du moins toute la promesse du *big data*, renforcée par l'avènement de l'IA.

Au-delà du secteur banque-assurance, de nombreuses institutions – justice, police, armée, immigration – commencent à déployer des systèmes d'analyse prédictive à diverses fins. En France, ces scénarios restent encore largement hypothétiques et le développement de ces initiatives n'en est qu'à un stade expérimental. Néanmoins, certains gouvernements étrangers ont déjà franchi le pas. C'est notamment le cas de l'Australie. En 2013, le Service australien des douanes et de la protection des frontières (*The Australian Customs and Border Protection Service*) a mis en place un système d'analyse du risque terroriste des passagers étrangers en partance pour l'Australie. Ce système, conçu par IBM, croise les données contenues dans les dossiers des passagers, ceux de services de renseignements australiens et les données sociales disponibles en ligne pour établir des profils de risque.

Suivant cet exemple, des services de police pourraient à l'avenir avoir recours à des algorithmes pour gérer le déploiement de leurs unités de patrouille et des armées utiliser des systèmes d'armes létales autonomes (SALA) sur des théâtres d'opérations extérieures. De tels bouleversements, que ce soit dans la santé, la banque, l'assurance et plus particulièrement dans un cadre régalien, soulèvent d'importantes problématiques éthiques.

Police prédictive

Les départements de police, en premier lieu aux États-Unis et à présent en Europe, explorent la possibilité d'utiliser des algorithmes prédictifs dans le cadre de leurs activités. Cette méthode, communément appelée police prédictive, fait référence à l'application des techniques de prévision et d'analyse de données massives (*big data*) à la prévention de la criminalité. Elle renvoie en réalité à deux applications distinctes : la première consiste à analyser des données géographiques pour identifier des zones à risque (*hotspots*) où des délits et des crimes sont susceptibles de se produire afin d'accroître la surveillance de ces zones et ainsi produire une force de dissuasion. La seconde concerne plutôt l'analyse des données sociales et des comportements des individus pour identifier des victimes ou criminels potentiels et agir promptement. Ces deux applications sont déjà déployées dans plusieurs métropoles américaines, et les services de police et de gendarmerie français et européens s'interrogent sur l'opportunité de les intégrer à leurs outils de prévention.

Les premiers travaux disponibles sur leurs effets aux États-Unis incitent à la prudence. Les solutions de police et justice prédictive comportent non seulement d'importantes limites techniques, mais ils peuvent également se révéler attentatoires aux libertés fondamentales (vie privée, droit à un procès équitable).

Sur un plan purement pratique, il nous faut garder à l'esprit qu'aussi sophistiqués qu'ils puissent être, ces systèmes restent faillibles : ils peuvent se tromper et mal classifier les individus qu'ils évaluent avec, comme conséquence, des effets potentiellement désastreux sur leur vie.

L'enquête de Propublica

En mai 2016, des journalistes de Propublica (journal d'investigation américain) ont révélé que l'algorithme d'estimation des risques de récidive COMPAS,

développé par l'entreprise *Northpointe* et utilisé par la justice américaine, était raciste et inefficace. En effet, en analysant les scores attribués aux détenus, il est apparu que cet algorithme surévaluait systématiquement le risque de récidive des détenus noirs-américains, à une fréquence deux fois plus élevée que celui des Américains blancs. En plus, ces derniers étaient souvent présentés comme présentant peu de risques, en contradiction avec leur taux réel de récidive.

Cela signifie que cet algorithme a conduit à maintenir en détention des détenus noirs qui n'auraient probablement pas récidivé (faux positifs), tout en permettant la libération de probables récidivistes blancs (faux négatifs).

En outre, l'enquête de Propublica nous rappelle que nous ne sommes pas tous égaux face à ces systèmes. Les données qu'ils exploitent, issues des bases de données de la police et de la justice, sont susceptibles d'être biaisées, reproduisant les biais normauxde la société. En les utilisant sans distance critique, on risque d'enfouir des discriminations dans le code et de les distribuer de manière systémique.

Il est également nécessaire de considérer les effets de ces solutions sur les personnels qui peuvent être amenés à les utiliser – ici juges et policiers. En effet, à mesure que leur usage progresse, ces solutions techniques produiront une pression croissante à l'harmonisation des décisions institutionnelles. Il est plus facile pour un juge de suivre les recommandations d'un algorithme présentant tel détenu comme un danger pour la société que de devoir d'approfondir le dossier par lui-même pour finir par le libérer, ou pour un policier de suivre un itinéraire de patrouille dicté par un algorithme que de s'y opposer. Ils auraient alors à justifier de leurs décisions « discrétionnaires ». Dans ces conditions, ils auraient plutôt intérêt à rapprocher leurs comportements ou décisions d'une moyenne considérée comme la norme. Or l'issue d'un tel mouvement est profondément incertaine et l'on peut craindre une remise en cause progressive de leur responsabilité individuelle. D'un autre côté, de tels systèmes ne seraient pas sensibles à la fatigue décisionnelle qui conduit les juges à libérer moins de détenus en fin de journée qu'en matinée…

Pour éviter ces dérives, il convient, en premier lieu, d'informer les citoyens sur leurs droits

Un autre danger lié à la prolifération des systèmes d'analyse prédictive est l'augmentation du risque de surveillance généralisée. Pour améliorer la prédiction et optimiser la prise de décision, il est nécessaire d'accroître la masse d'informations disponibles, aux dépens de la vie privée des individus. Toutefois, de manière plus fondamentale, ces systèmes sont susceptibles de limiter l'autonomie individuelle des citoyens, en incitant un juge à maintenir en détention un détenu ayant pourtant purgé sa peine ou en organisant la surveillance systématique des populations issues de quartiers défavorisés.

Encadrer l'utilisation des algorithmes prédictifs

Pour éviter ces dérives, il convient, en premier lieu, d'informer les citoyens sur leurs droits. En l'occurrence, le droit au recours effectif et, au-delà, celui du

droit à l'explication sur les traitements de données, qui fondent une pratique de surveillance. De ce point de vue, rappelons que la loi Informatique et Libertés posait dès 1978 le principe selon lequel « aucune décision administrative ou privée impliquant une appréciation sur un comportement humain ne peut avoir pour seul fondement un traitement automatisé d'informations donnant une définition du profil ou de la personnalité de l'intéressé », ajoutant que « toute personne a le droit de connaître et de contester les informations et les raisonnements utilisés dans les traitements automatisés dont les résultats lui sont opposés ». Ces dispositions, étendues par une loi du 6 août 2004, montrent que le législateur avait anticipé très tôt les dangers éventuels de ce type de dispositifs. Ces dispositions ont été reprises en substance dans l'article 22 du RGPD.

Il est par ailleurs essentiel de s'assurer qu'à tout point du raisonnement, on puisse imputer une responsabilité à un être humain, selon des modalités préalablement définies. Plusieurs scénarios mériteraient d'être étudiés, qui vont d'une responsabilité individuelle (de la personne qui prend la décision, au concepteur de l'algorithme ou de la technologie en question) jusqu'à une responsabilité en cascade.

Enfin, le développement de ces technologies doit nous conduire à nous interroger sur la place de l'automatisation dans les décisions humaines. Existent-ils des domaines où le jugement humain, aussi faillible soit-il, n'a pas vocation à être remplacé par la machine ? Si oui, il faut réfléchir dès à présent aux dispositions à prendre pour les protéger.

Les systèmes d'armes létales autonomes

Parmi les craintes liées au développement de l'IA figure en bonne position le sujet des systèmes d'armes létales autonomes (SALA). La discussion n'est pas nouvelle : elle a d'ailleurs été initiée par la France dès 2013 au sein de la Convention sur certaines armes classiques (CCAC) de l'ONU qui a conduit à la création d'un groupe d'experts gouvernementaux dont la première session s'est tenue fin 2017.

Au-delà de la difficulté à parvenir à la signature d'un accord international sur un sujet aussi sensible que stratégique dans le domaine militaire, la discussion est compliquée par la problématique de la définition et du périmètre couvert par les SALA, d'autant qu'il n'existe pas à ce jour de réalisation concrète de ce type d'armes… du moins qui soit publique. C'est là que les premiers obstacles se dressent : de même que pour définir l'IA, il est difficile de marquer une frontière claire entre ce qui est autonome et ce qui ne l'est pas, et nous sommes contraints d'envisager en fait un *continuum* entre les deux, des degrés divers d'autonomie. On navigue alors entre deux eaux : d'un côté un périmètre trop inclusif qui freine les partisans d'une régulation, qui risquerait de mettre à mal des capacités existantes ou le développement de capacités de pointe, et d'un autre côté un périmètre trop exclusif qui n'engloberait aucun système pertinent.

La recherche de la performance est pourtant une nécessité face à des adversaires dont les capacités croissent sans cesse et face à des situations tactiques de plus en plus complexes, impliquant des systèmes d'une sophistication toujours croissante. Côté français, il est cependant possible d'être à la fois

moteur d'une éventuelle régulation ou de l'élaboration de bonnes pratiques, sans se priver *ex ante* de capacités de pointe et se faire distancer par d'autres États dans ce domaine stratégique majeur.

De l'automatisme à l'autonomie

L'évolution des systèmes d'armes est à plus d'un titre comparable à celle du véhicule, qui évolue progressivement vers le véhicule autonome. Les premières réalisations concernent les fonctions qui induisent une complexité à l'usage et nécessitent une intervention spécifique du conducteur : passage de vitesse, phares, clignotants, régulateurs de vitesse… L'automatisation de ces fonctions permet de simplifier l'usage sans pour autant réduire le rôle du conducteur qui n'a plus besoin de contrôler finement la mécanique du véhicule. De la même façon, les systèmes de correction de trajectoire ou d'évitement permettent aux véhicules de protéger leurs conducteurs et autrui, en réagissant automatiquement et dans un délai beaucoup plus court à des situations préidentifiées.

Le caractère autonome d'un véhicule n'admet pas non plus une définition stricte, et est défini par plusieurs niveaux bien identifiés[1]. Pour éviter les écueils d'une définition forcément imparfaite, il est pertinent de déterminer des échelles de l'autonomie : mines antipersonnel, systèmes téléopérés et automatiques, systèmes de défense antimissile, etc. Ceci permettrait de mieux identifier les technologies sur lesquelles l'on souhaiterait agir en excluant de la réflexion celles qui ne sont pas concernées par l'émergence de l'IA (les mines antipersonnel, notamment, souvent prises en contre-exemple) ou celles qui relèvent de la seule automatisation pour un besoin de performance. Sur une telle échelle, des systèmes téléopérés, pilotés à distance, des systèmes de défense antimissile, torpilles, des systèmes de navigation et de guidage et les systèmes de surveillance et de détection ne sauraient être considérés comme des SALA.

1. De 0 à 5, du véhicule opéré totalement manuellement jusqu'à l'autonomie à performance comparable à celle de l'humain

Élaborer cette échelle aurait une première vertu pédagogique. Elle pourrait contribuer à dépassionner des débats. En effet, afin d'atteindre ce qui pourrait être un équivalent du niveau 5 de l'autonomie pour le véhicule autonome – à savoir une capacité semblable à celle de l'être humain d'aborder n'importe quelle situation et d'y réagir en conséquence – il faudra une rupture technologique qui n'a pas encore eu lieu aujourd'hui (pour beaucoup d'experts, elle est encore lointaine et peu crédible). Or c'est ce niveau d'autonomie qui semble être le sujet de préoccupations majeures de la population.

Perspectives françaises

Côté français, il est affiché et assumé que la responsabilité d'engager la force létale appartient toujours à l'humain. Les principaux développements qui impliquent des techniques d'IA portent sur l'aide à la décision et à l'exécution plutôt que sur sa substitution. À ce titre, il s'agit donc de décharger les opérateurs humains de tâches chronophages et à faible valeur ajoutée pour leur permettre de se concentrer sur les tâches à haute valeur ajoutée. Cela peut également s'inscrire dans des besoins de minimisation des temps de réaction dans des situations où la rapidité d'exécution est déterminante.

Il faut rappeler que tous les systèmes d'armes développés, acquis ou adoptés sont soumis au droit international et humanitaire : ils subissent un examen de licéité et de conformité au droit international au titre de l'article 36 du Protocole I additionnel aux Conventions de Genève. Il a été proposé par la France[2] d'améliorer la transparence et la confiance sur ce point sur le sujet spécifique des SALA.

2. Voir la déclaration du 5 novembre 2017 du représentant permanent de la France auprès de la Conférence du Désarmement

De même que la France a joué un rôle moteur sur l'initiation du dialogue international en 2013, si des régulations ou des guides de bonnes pratiques devaient voir le jour au niveau international, il faudra qu'elle continue de jouer un rôle de premier plan dans leur définition. Notre pays pourrait notamment étudier des pistes qui s'intéresseraient à des solutions technologiques déterminant par exemple le niveau d'interaction humain-machine nécessaire dans le développement, le déploiement et l'emploi de technologies émergentes ; des révisions périodiques des systèmes (par exemple dans le cas de technologies d'autoapprentissage) ou encore l'ajout de moyen de télédestruction et d'abandon de mission.

Si le dialogue international a vocation à se poursuivre au sein de la CCAC, il est également important qu'ait lieu un débat éthique international sur ces questions, associant, au-delà de seuls experts techniques, la société civile et les ONG.

Mettre en place un observatoire sur la non-prolifération des armes autonomes

Contrairement à d'autres technologies duales où la situation est inverse, pour le domaine de l'IA c'est la composante civile qui tire la composante militaire. La difficulté consiste alors dans l'appropriation et l'adaptation. Ainsi la question de la prolifération doit être abordée dans un contexte où les briques technologiques nécessaires à la constitution d'armes ne relèvent plus du domaine militaire, et où toute personne initiée à l'IA pourrait en détourner l'usage pour créer des armes de fortune.

Concernant les matériels de guerre, la France est déjà dotée d'une régulation qui permet d'en garder le contrôle. D'après les informations publiées par la Direction Générale des Relations Internationales et de la Stratégie du Ministère des Armées :

Le dispositif français de contrôle des matériels de guerre repose sur un principe général de prohibition qui soumet l'ensemble du secteur au contrôle de l'État et dont la Commission interministérielle pour l'exportation des matériels de guerre (CIEEMG) est le bras armé. La CIEEMG est une commission réunissant des représentants de plusieurs ministères dont ceux en charge de la défense, des affaires étrangères et du développement international, et de l'économie et des finances, qui ont voix délibérative. Elle est placée auprès du Premier ministre et est présidée par le Secrétaire général de la défense et de la sécurité nationale (SGDSN). Elle apprécie les projets d'exportation sous tous leurs aspects, en tenant compte notamment des conséquences de l'exportation en question pour la paix et la sécurité régionales, de la situation intérieure du pays de destination finale et de ses pratiques en matière de respect des droits de la personne humaine, du risque de détournement au profit d'utilisateurs finaux non autorisés, de la nécessité de protéger la sécurité

de nos forces et celles de nos alliés ou encore de maîtriser le transfert des technologies les plus sensibles.

Pour l'IA la question de la prolifération doit être abordée dans un contexte où les briques technologiques nécessaires à la constitution d'armes ne relèvent plus du domaine militaire et sont élaborées par des acteurs privés pour des applications purement civiles. Il est donc à noter que toute personne initiée à l'IA pourrait en détourner l'usage pour créer des armes de fortune : quand aujourd'hui une détection est faite par un algorithme et déclenche une réaction informatique, la complexité additionnelle pour en faire une réaction physique est nulle.

Dans ce contexte, il pourrait être mis en place, sur le modèle de l'observatoire sur la non-prolifération pour les armes nucléaires, biologiques et chimiques, un observatoire assumant une mission de veille et de prospective permanente sur la question des armes létales autonomes et des risques associés.

Une gouvernance spécifique de l'éthique en intelligence artificielle

Avec l'essor de l'IA, les questionnements éthiques sont aujourd'hui sur toutes les lèvres : chercheurs, syndicats, entreprises (petites ou grandes), associations… de nombreux acteurs privés se lancent ou se sont lancés dans des initiatives spontanées de réflexion approfondie ou d'élaboration de chartes éthiques. Il y a deux ans, la loi pour une République numérique confiait à la CNIL une mission de réflexion sur les enjeux éthiques et les questions de société soulevées par l'évolution des technologies numériques. Celle-ci a choisi d'y répondre rapidement en initiant un cycle décentralisé de débats publics, ateliers ou rencontres, qui ont permis de nourrir un remarquable rapport[3] publié en décembre dernier. Parallèlement, les géants privés de l'IA cherchent à se positionner dans toutes les ramifications du débat mondial, multipliant depuis plusieurs mois les créations de structures de réflexion sur l'éthique des technologies qu'ils déploient.

3. Comment permettre à l'Homme de garder la main ? Rapport sur les enjeux éthiques des algorithmes et de l'IA du 15 décembre 2017

La place de l'éthique dans le débat sur l'IA a pris aujourd'hui une importance telle qu'il paraît nécessaire d'instaurer, dans un cadre institutionnel, un Comité consultatif national d'éthique pour les technologies numériques et l'intelligence artificielle. Une telle instance pourrait être créée sur le modèle du Comité consultatif national d'éthique (CCNE), qui existe depuis 1983 pour la science de la vie et de santé. Distinctes, ces deux institutions pourraient néanmoins être amenées à étudier et rendre un avis conjoint sur les problématiques qui émergent au croisement de leurs champs d'expertise, pour ce qui touche au transhumanisme, au *biohacking* ou au traitement par l'IA des données de santé, par exemple. Les deux comités pourraient d'ailleurs avoir un ou quelques membres en commun, étant entendu par ailleurs qu'il ne faut pas contraindre leur composition par des règles trop strictes.

Il paraît nécessaire d'instaurer, dans un cadre institutionnel, un Comité consultatif national d'éthique pour les technologies numériques et l'intelligence artificielle

Ce comité d'éthique des technologies numériques et de l'IA serait chargé d'organiser le débat public, de façon lisible, construite et encadrée par la

loi. Il devra parvenir à articuler des logiques de temps court, celui des enjeux économiques et industriels, en bonne interaction avec les comités sectoriels, tout en parvenant à s'en extraire pour penser le temps long. La composition d'une telle instance devrait garantir un haut niveau d'expertise mais aussi d'indépendance vis-à-vis des intérêts particuliers.

Les avis de ce comité, élaborés en toute indépendance, pourraient éclairer les choix technologiques des chercheurs, des acteurs économiques et industriels. Nous pourrions à ce titre nous inspirer de l'Allemagne, qui a récemment mis sur pied une commission d'éthique chargée de statuer spécifiquement sur les véhicules autonomes. Celle-ci a rendu son premier rapport en août dernier[4], dont les recommandations peuvent servir de référence pour la résolution de dilemmes éthiques et donc servir de standard pour la programmation de ces véhicules. Ce nouveau comité devra également être en mesure de conseiller l'État sur ses choix technologiques : qu'il s'agisse du niveau national (choix régaliens par exemple, s'agissant de l'IA au service de la surveillance…) ou au niveau international (position de la France sur les armes autonomes).

4. Rapport disponible à l'adresse suivante : https://www.huntonprivacyblog.com/wp-content/uploads/sites/18/2017/06/084-dobrindt-bericht-der-ethik-kommission.pdf

Comme pour le CCNE actuel, cette commission pourrait être officiellement saisie par le Président de la République, les membres du gouvernement, les présidents des assemblées parlementaires, un établissement d'enseignement supérieur ou un établissement public ; ou décider de s'auto saisir sur tout sujet entrant dans son champ de compétences. Il s'agit néanmoins d'aller plus loin et de penser une réelle ouverture sur la société.

Porter l'accent sur l'ouverture sur la société

Aux possibilités de saisines institutionnelles pourrait s'ajouter une possibilité de saisine citoyenne, dont les modalités restent à définir. Cette commission pourrait par ailleurs inclure une part de membres issus de la société civile et de citoyens représentatifs de la population, capable de participer à l'instruction des sujets autant qu'aux délibérations et à la fixation de l'ordre du jour.

Le CCNE actuel a initié une démarche intéressante d'ouverture sur la société. La loi du 7 juillet 2011 relative à la bioéthique l'a en effet chargé d'organiser des états généraux, préalablement aux réformes envisagées sur les questions éthiques ou de société. L'objectif est de faire participer les citoyens à la réflexion éthique, en facilitant leur compréhension des enjeux qui ont trait au progrès scientifique : les « comités citoyens des états généraux » sont ainsi constitués d'un échantillon de citoyens représentatifs de la population française chargé de donner leur point de vue sur les sujets traités. Cette démarche pourrait être reprise.

Faire vivre le débat éthique dans la société

La formidable effervescence que l'on observe aujourd'hui sur cette question de l'éthique doit être encouragée et renforcée. C'est pourquoi au-delà de ses missions premières, ce comité devrait être chargé d'animer et de faire vivre le débat éthique dans la société : organisation d'événements, tenue de consultations publiques, en ligne et hors ligne, mise à disposition d'outils

et accompagnement pour l'organisation de débats autonomes, sondages et baromètres de l'opinion sur ces différentes problématiques, etc.

Ce comité pourrait enfin capitaliser sur la grande diversité d'initiatives que l'on observe depuis plusieurs mois : chartes syndicales, d'entreprises, d'associations, travaux de recherche, etc, où se croisent et se chevauchent différentes approches philosophiques ou scientifiques du sujet, différentes sphères de légitimité et d'expertise. Ces retours d'expérience sont précieux pour une réflexion plus générale. Cette commission pourrait se charger de les recenser en continu, pour cartographier les préoccupations spécifiques qui les motivent, mais aussi de les mettre en valeur, voire les homologuer, pour fournir des éléments utiles aux autres acteurs en quête d'exemples de bonnes pratiques.

Une réflexion qui doit s'inscrire dans un cadre international

Un certain nombre d'acteurs internationaux, tant publics que privés, se lancent ou se sont lancés dans une réflexion sur l'éthique en IA. Le chercheur français Yann LeCun a été à l'origine d'un partenariat éthique entre de très grands acteurs tels que les GAFA sur ce thème ; Deepmind s'est doté d'un département éthique ; le Royaume-Uni a déjà annoncé la mise en place d'un comité éthique national.

Au niveau européen, on pourrait imaginer un réseau des comités éthiques nationaux, sur le modèle du « réseau des CNIL ».

Au niveau mondial, le Québec vient de proposer la création d'une agence mondiale qui pourrait être hébergée à Montréal, comme l'Agence internationale contre le dopage. Dans le même temps, l'Unesco a lancé une réflexion internationale. Tous ces efforts peuvent être encouragés.

Et si demain les utilisateurs étaient responsables des accidents causés par les voitures autonomes ?

L'assurance contre le risque est une création ancestrale. Elle est aussi ancienne que les sociétés humaines. Les assurances ont d'abord protégé les échanges commerciaux, les bateaux et les marchandises. Elles ont ensuite couvert les personnes et leurs biens. Les temps changent. Le raz-de-marée numérique et les évolutions des technologies et de la science commencent à faire vaciller cet ancêtre.

Le décryptage du génome va bouleverser l'assurance santé. Lorsqu'il sera répandu, l'analyse des gènes déterminera la probabilité d'un individu à développer un cancer ou une autre maladie nécessitant des soins lourds. Si les assurances refusent d'assurer dès la naissance des individus ayant des risques d'avoir une maladie incurable, le dispositif, basé sur l'égalité des risques, va s'écrouler. Aujourd'hui, le système vacille avec les questionnaires santé. Il s'effondrera avec le verdict scientifique.

On annonce que, avec la machine au volant, il y aura 80 % d'accidents en moins. Cette excellente nouvelle pour les automobilistes va obliger les assureurs à repenser leurs modèles économiques. Dans le même temps, le responsable d'un accident ne pourra pas être le propriétaire de la voiture vu qu'il ne maîtrise plus sa conduite. Qui sera-t-il ? Le concepteur de l'algorithme de conduite, le fabricant de la voiture, les occupants ? En mai 2016, un conducteur au volant d'une Tesla percute un camion. Il décède alors qu'il avait enclenché l'autopilote. L'enquête montre que la victime n'a pas écouté les alertes. Est-ce que demain le véhicule demandera au conducteur de reprendre le volant ? Que se passera-t-il s'il ne le fait pas ?

Dans cette tourmente, rien n'interdit d'imaginer que les assureurs automobiles développent des dispositifs pour redonner la responsabilité aux usagers. L'un d'entre eux pourrait leur demander de déterminer l'attitude que la voiture doit adopter en cas d'imprévu.

Sarah et Nolwy attendent deux bébés. Désirant que leurs trésors se déplacent en Autonolib baby, elles remplissent un questionnaire qui détermine le fonctionnement de l'engin en cas d'imprévu.

– Sarah, j'ai contacté Autonolib baby… Sarah… Sarah, tu m'entends ?

Sarah est absorbée dans la contemplation de son futur bébé. Pour le porter, elle a choisi Réva, une mère porteuse solidaire. Le projet de cette Indienne l'a séduite. Avec la somme donnée par Sarah, la famille de Réva va construire un système d'irrigation. En plus, Réva proposait la grossesse connectée. Grâce à la pilule-caméra implantée dans l'utérus de la mère, Sarah peut suivre en direct tous les mouvements du fœtus.

– Sarah, il faut vraiment qu'on prenne l'abonnement à Autonolib baby, reprend Nolwy.

– Excuse-moi. La petite est craquante avec ses petits points serrés. Ce sera une révolutionnaire !

– Peut-être, dit Nolwy en envoyant un regard tendre à sa copine. Dans les Autonolib baby, il y a plusieurs places pour les bébés. On n'aura donc besoin d'en commander qu'un seul pour les trajets de nos trésors jusqu'à la crèche.

Comme sa compagne, Nolwy est dans l'attente d'un bébé. Dans un mois, le couple deviendra une famille de quatre personnes. Les deux jeunes femmes sont aussi impatientes qu'inquiètes.

– J'ai entendu dire que s'abonner à Autonolib prend un peu le chou, dit Sarah.

– Tu veux rire, réplique Nolwy. Julie est abonnée. Quand elle veut se déplacer, elle commande une Gymcar ou une Workcar qui arrive en bas de chez elle dans les cinq minutes. Elle monte dans la voiture, fait sa gym ou bosse et elle est arrivée.

– C'est prendre l'abonnement qui est compliqué. Il faut remplir un questionnaire qui définit le prix de l'abonnement, dit Sarah.

– Elle ne m'en a pas parlé. J'imagine que c'est son père qui va payer la facture.

Sarah jette un regard sur son futur bébé pour ne pas faire de remarque. Nolwy est aussi une fille à papa. Son géniteur lui a offert le must du moment en matière de grossesse : la couveuse autoportée reliée. Le bébé grandit dans une couveuse collée au ventre de la mère. Il est alimenté par elle. Mais le dispositif est indépendant. Si un soir, la mère est fatiguée de porter le poids de son futur enfant, elle peut le laisser en autonomie.

– Tant qu'à faire, on le remplit de suite, ajoute Nolwy en affichant le contrat sur la table du salon. Il faut définir comment la voiture autonome devra se comporter en cas d'imprévu.

– Ne me dis pas que l'on doit déterminer comment la voiture autonome va réagir quand nos deux bébés seront dans la voiture… Je ne veux pas répondre… C'est horrible.

Nolwy prend la main de sa compagne pour la rassurer. Sarah est une phobique des technologies. Elle a toujours l'impression que le grand tout technologique va la réduire en poussière. Bizarrement, lorsqu'elle observe les mouvements de son bébé dans le ventre d'une femme vivant à des milliers de kilomètres de distance, cela ne résulte pas d'un progrès technologique.

– Sarah, pas de panique. Ce questionnaire est juste une astuce des assurances pour que les utilisateurs de voitures autonomes soient responsables en cas d'accidents. Nos réponses ont seulement une incidence sur le prix de l'assurance.

– Je n'aime pas. On remplit ton questionnaire et on n'en parle plus, dit Sarah.

– Première question : la voiture roule à vive allure quand surgissent un enfant et un chien. Si la voiture tourne à droite, elle tue le chien. À gauche, l'enfant. Que choisit la voiture ?

– La voiture accuse le chien de la rage et le tue. Ainsi la voiture n'aura pas la SPA sur le dos. Quant à l'enfant, s'il est souriant et intelligent, il pourra devenir copain avec nos futurs trésors, dit Sarah.

Nolwy coche la case politiquement correcte puis clique pour afficher une nouvelle page.

– Deuxième question, dit Nolwy. La voiture roule sur l'autoroute quand deux groupes de personnes traversent. Le groupe A comprend dix piétons, le groupe B n'en a que cinq.

– Elle supprime le groupe B. La voiture est contente. Elle a cinq morts en moins sur la conscience. Dans ce type de questionnaire, on doit sans doute imaginer qu'une voiture autonome a une conscience.

– Je ne sais pas, dit Nolwy.

– Enfin, tu sais tout de même que ce questionnaire est stupide.

Nolwy fait un geste montrant qu'il faut attendre. Elle a rempli plusieurs questionnaires d'assurance. Elle sait qu'ils peuvent être retors.

– Troisième question : la voiture continue sa route quand les deux groupes traversent de nouveau la route. Là, la voiture identifie que le groupe A est composé de dix réfugiés sans travail. Dans le groupe B, il y a les cinq patrons des entreprises qui embauchent le plus en Europe.

– Comme elle sait, la voiture ? Ah, oui, elle est autonome et supra-intelligente.

– Sarah, aujourd'hui, tout le monde porte sur lui au moins un objet connecté qui l'identifie.

– L'affaire se corse. Si la voiture tue le groupe des patrons, des milliers de personnes n'auront plus de boulot. Vu que les temps sont durs, on va enregistrer des milliers de suicides.

Nolwy regarde sa compagne avec des yeux ronds.

– Toi, la militante de l'égalité des chances, tu choisis que la voiture tue dix réfugiés sans boulot ! Imagine qu'il y ait Réva, la mère porteuse de ton enfant dans le lot. Tu vas tuer ton bébé pour garantir la vie de patrons qui refusent de donner du boulot aux réfugiés.

Sarah tremble en ayant les yeux fixés sur son bébé. Elle semble totalement perdue.

– Nolwy, si tu veux, on tue les patrons. De toutes les manières, cela ne changera rien. Des clones les remplaceront.

– C'est trop tard, je suis passée à la quatrième question : quelques minutes plus tard, le groupe des patrons rescapés voit une voiture autonome à l'horizon. Confiants, ils traversent quand tes parents font de même de l'autre côté. Que doit faire la voiture ?

– Que viennent faire mes parents dans cette galère ? De toutes les manières, ils sont en voyage à l'autre bout de monde.

– Ils reviennent pour l'arrivée des petits. Qui doit tuer la voiture ? Tes parents ou les patrons ?

Sarah se lève, va taper dans le coussin du canapé, ouvre la porte du réfrigérateur, la referme. Bref, elle a des réactions d'une femme enceinte et agacée.

– C'est monstrueux. Je ne veux pas qu'on tue mes parents. Les petits n'auront pas de grands-parents.

– Donc, la voiture autonome va tuer le groupe des patrons. Des milliers de personnes vont perdre leur boulot et se suicider. Tes parents auront des centaines de morts sur la conscience.

– Mes parents ne sont pas des tueurs.

Sarah va maintenant chercher une bouteille de vin. Alors qu'elle commence à se servir, elle voit son bébé qui lève le doigt. Elle sourit, repose la bouteille.

– On passe. Dernière question. La voiture continue sa route quand le chien traverse de nouveau. Comme la route s'est élargie, elle a le choix entre tuer un chien, dix immigrés sans emploi, cinq grands patrons, tes parents ou détruire la voiture où les bébés sont.

– La voiture tue le chien, s'exclame Sarah.

– Trop tard. Le chien a traversé la route et continue tranquillement sa balade.

– Nolwy, ce n'est pas possible. On ne peut pas répondre à une telle question.

– Si on ne répond pas, ils nous mettront la prime maximum et nous n'aurons pas les moyens de payer l'abonnement.

– Ce n'est pas plus mal. C'est trop dangereux, les voitures autonomes. Elles tuent des chiens, des immigrés, mes parents. Jamais, elles ne transporteront nos bébés.

Nolwy referme l'écran-table en soupirant. Elle connaît sa compagne. Quand elle a une technologie à fustiger, elle a ses litanies toutes prêtes : si la technologie donne du sens à la vie des ingénieurs, elle leur fait perdre le bon sens… Comme dit Einstein, notre technologie a dépassé notre humanité…

– Sarah, il faut que tu comprennes, si la technologie donne du…

Sarah n'entend pas sa compagne. Cette inadaptée technologique a investi dans un brouilleur de radotages.

Partie 6 –

Pour une intelligence artificielle inclusive et diverse



L'intelligence artificielle ne peut pas être une nouvelle machine à exclure. C'est une exigence démocratique dans un contexte où ces technologies sont en passe de devenir une des clés du monde à venir. Elle ouvre de formidables opportunités de création de valeur et de développement de nos sociétés et des individus. Ces opportunités doivent bénéficier à tous.

À tous, et en premier lieu à toutes. Rappelons que les femmes représentent près de la moitié de l'humanité mais à peine 33 % des personnes du secteur numérique (12 % seulement, si l'on écarte les fonctions transversales et supports). Pour relever les défis de l'intelligence artificielle, il nous faut nous appuyer sur l'ensemble de nos talents. Cette mobilisation collective doit être la plus ouverte possible. Chacun doit avoir les mêmes chances de participer à la recherche, au développement et la création de valeur en IA. Tout l'enjeu consiste donc à décloisonner et à distribuer les capacités d'innover.

Plus généralement, face à l'évolutivité des technologies et des usages liés à l'IA, notre société est tenue à un devoir de réflexivité et de vigilance collective. Notamment vis-à-vis des populations fragiles et des publics déjà exclus du numérique, pour qui l'IA peut représenter un danger encore plus grand. Le développement de l'IA peut tout autant emporter la promesse d'une société meilleure, plus juste et efficace, que le risque d'une hyperconcentration de la valeur au profit d'une petite élite numérique.

En préalable à une politique d'inclusion, l'éducation du plus grand nombre aux principes de l'IA et des algorithmes est primordiale. L'introduction d'une matière dédiée aux humanités numériques, récemment annoncée par le ministre de l'Éducation nationale, pourrait servir de support à ces enseignements.

En matière d'IA, la politique d'inclusion doit donc revêtir un double objectif : s'assurer que le développement de ces technologies ne contribue pas à accroître les inégalités sociales et économiques ; et s'appuyer sur l'IA pour effectivement les réduire. Plutôt que de fragiliser nos trajectoires individuelles et nos systèmes de solidarités, l'IA doit prioritairement nous aider à activer nos droits fondamentaux, augmenter le lien social et renforcer les solidarités.

Mixité et diversité : agir pour l'égalité

En dépit d'une féminisation lente mais progressive des filières scientifiques et techniques, le numérique fait figure d'exception : la parité entre les hommes et les femmes est loin d'y être acquise (*voir encadré*). Au-delà des enjeux de compétitivité et de performance, la mixité et la diversité sont des enjeux de société. À mesure que le numérique et, demain, l'intelligence artificielle deviennent omniprésents dans nos vies, ce manque de diversité peut conduire les algorithmes à reproduire des biais cognitifs – souvent inconscients – dans la conception des programmes, l'analyse des données et l'interprétation des résultats (voir à ce titre la partie consacrée à l'éthique).

Les femmes représentent près de la moitié de l'humanité mais à peine 33 % des personnes du secteur numérique

Les illustrations sont légion : on constate par exemple que de nombreux programmes associent des mots tels que « programmation » avec « homme » et « tâches ménagères » avec « femme ». En 2015, lorsque vous tapiez « CEO » (PDG) dans un moteur de recherche aux États-Unis, il fallait aller jusqu'à la 96e photo pour y trouver une femme… sans compter qu'il s'agissait d'une image de *Barbie CEO* en tailleur minijupe[1] ! Aujourd'hui encore, lorsqu'on tape ce mot dans un moteur de recherche, il en ressort très majoritairement des photos d'hommes, alors que près d'un tiers des PDG américains sont des femmes.

1. Dailymail : « The first woman to appear in a Google search for 'CEO' ? BARBIE… and, of course, she's wearing a miniskirt » http://www.dailymail.co.uk/femail/article-3043673/The-woman-appear-Google-search-CEO-BARBIE-course-s-wearing-miniskirt.html

L'un des grands défis de l'IA consiste donc à parvenir à une meilleure représentativité de nos sociétés. Dans cette section on insistera surtout sur la discrimination entre les femmes et les hommes : ce n'est pas la seule, bien sûr, mais celle-ci, bien identifiable, concerne une part considérable de la population (en aucun cas une « minorité ») et a des conséquences dans de larges pans de la société. On gardera en tête, cependant, qu'un travail similaire devrait être fait pour d'autres discriminations sociales (en fonction de la langue, de l'identité ethnique, de la nationalité, de la religion, des revenus…), même si elles sont plus difficiles à saisir. Notons à ce sujet qu'en Europe, les restrictions (légitimes) sur les fichiers de données personnelles sensibles telles que l'ethnie rendent cette examen encore plus difficile[2].

2. La lutte contre les discriminations est d'ailleurs un argument utilisé aux États-Unis pour justifier l'établissement de bases de données contenant, entre autres, des informations ethniques.

S'agissant de la mixité, le préalable premier reste l'éducation à l'égalité, dès le plus jeune âge, qui doit impliquer les parents, les entreprises privées, les médias, les associations et naturellement tous les acteurs de l'éducation. Dès le plus jeune âge et jusque dans les écoles informatiques et d'ingénieurs, l'École doit transmettre une culture de l'égalité entre les sexes au travers des enseignements, des actions éducatives, des formations et des supports pédagogiques et veiller à ce que l'information délivrée sur les métiers et les filières de formation soit exempte de tout stéréotype sexué.

Les femmes dans le secteur du numérique et les carrières d'ingénieurs en France

En 2016, dans les écoles d'ingénieur en informatique, on dénombre moins de 10 % de femmes. L'informatique est la seule discipline où la part des femmes est en nette régression, alors que, dans toutes les filières scientifiques et techniques, elle augmente. Alors qu'en 1983, c'était le deuxième secteur comportant le plus de femmes diplômées, avec 20,3 %, soit 6 points au-dessus de la moyenne des femmes ingénieures.

Au sein de l'économie, la part des femmes dans le numérique est tragiquement faible : les femmes ne représentent que 33 % des effectifs dans le numérique et, si l'on écarte les fonctions transversales et supports, ce chiffre tombe sous la barre des 12 %. Par ailleurs, les femmes ne représentent que 11 % des effectifs dans le secteur de la cybersécurité.

Au-delà de cet indicateur global, il faut s'intéresser plus précisément à la place des femmes ingénieures dans les entreprises, leur positionnement hiérarchique, et leur rémunération. Ce sont deux trois clés pour l'attractivité de ces métiers et le taux d'attrition des femmes, soit le taux de départ des femmes après leur arrivée dans l'entreprise. Les femmes ingénieures membres de comités de direction ou directoire sont moins de 10 %. L'écart

de salaire moyen entre les femmes et les hommes chez les ingénieurs est de 30 %, et il atteint plus de 34 % pour les plus de 45 ans. L'écart de salaire est quatre fois plus important dans les SSII, ou les sociétés d'ingénierie. Dans l'entrepreneuriat innovant, le constat est tout aussi inquiétant : 9 % des startups françaises sont créées par des femmes. Les femmes lèvent en moyenne deux fois moins d'argent que les hommes…

Sources des chiffres : campagne d'information sur la thématique « Femmes et Numérique » du Centre Francilien pour l'Égalité Femmes – Hommes, Centre Hubertine Auclert, étude Syntec et OPIIEC, La performance économique et sociale des startups numériques en France de 2015, étude Mutationnelles, 2014 et étude startup Ernst and Young de 2015

Un second préalable passe par l'éducation au numérique à l'École. Actuellement des formations spécifiques à l'informatique sont dispensées dans l'enseignement primaire et secondaire mais elles demeurent facultatives et se révèlent – bien souvent – insuffisantes. Au-delà d'être une discipline, le numérique est une pédagogie qui concerne les contenus des enseignements, les méthodes utilisées, la construction des savoirs et des sciences ou encore les relations entre les acteurs et l'organisation du système. Il s'agit de mettre en place tant pour les enseignements que pour les élèves, une véritable éducation au numérique fondée sur le décloisonnement et la transversalité.

Comprendre la sous-représentation des filles dans l'éducation aux sciences, technologies, ingénieries et mathématiques (STEM) : une orientation sexuée de l'enseignement

En 2016, les États membres des Nations Unies ont adopté une décision sur le rôle de l'UNESCO pour ce qui est d'encourager les filles et les femmes à exercer un leadership dans les sciences, les technologies, l'ingénierie et les mathématiques (STEM).

Un rapport de l'UNESCO de 2017 répond directement à cette demande en décryptant les facteurs qui entravent ou facilitent la participation, la réussite et la rétention des filles et des femmes dans l'éducation aux STEM et, en particulier, ce que peut faire le secteur de l'éducation pour promouvoir l'intérêt et l'engagement des filles et des femmes dans les STEM. De manière générale, le rapport constate que les filles semblent perdre leur intérêt pour ces matières avec l'âge, en particulier entre le début et la fin de l'adolescence. Cette baisse d'intérêt affecte la participation aux études scientifiques dans le secondaire.

En ce qui concerne la maîtrise des outils informatiques, une étude de 2013 a constaté des niveaux de confiance en soi moins élevés chez les filles de 12 ans, même dans des contextes où elles sont plus performantes que les garçons. Le rapport cite également une étude réalisée au Vietnam affirmant que les filles abordent les technologies de l'informatique avec l'idée que la programmation est difficile. Cela étant, en surmontant cette idée, elles s'améliorent en programmation et souvent réussissent mieux que les garçons.

Source : UNESCO, Déchiffrer le code : L'éducation des filles et des femmes aux sciences, technologies, ingénieries et mathématiques (STEM), 2017

Pour rendre l'éducation à l'égalité entre les femmes et les hommes et celle au numérique effectives, les personnels éducatifs et d'orientation doivent être formés à ces disciplines afin d'inciter massivement les jeunes filles à aller vers le secteur du numérique. Les chefs et cheffes d'établissement pourraient être les garants de la bonne mise en œuvre des politiques éducatives en faveur de l'égalité et du numérique.

S'inspirer des initiatives étrangères pour apprendre aux filles à coder

En Inde, l'initiative sociale *@IndianGirlsCode* offre des programmes gratuits de codage et de robotique aux jeunes filles défavorisées. Cette initiative incite les filles à devenir des innovatrices dans le domaine de l'informatique et de la technologie et les aide à apprendre à coder et à innover en créant des applications pour des problèmes de tous les jours.

Aux États-Unis, *Girls Who Code* est une organisation à but non lucratif qui vise à éduquer et autonomiser les adolescentes et à les équiper de compétences et de ressources pour saisir des opportunités en technologie et ingénierie. La formation est dispensée au moyen de clubs gratuits périscolaires ou de programmes d'été intensifs. Plus de 10 000 filles ont participé au programme, dont beaucoup sont maintenant inscrites dans des grandes universités des États-Unis où elles font des études d'informatique.

Une action forte : un objectif de 40 % d'étudiantes dans les filières du numérique

Le déclin des femmes dans les métiers de l'informatique est un phénomène alarmant, qui ne cesse de s'aggraver malgré les efforts de la profession, de l'éducation et du monde associatif pour encourager la diversification des choix professionnels des filles. Ce constat est unanimement partagé : nous vivons une crise d'orientation dans les filières d'excellence du numérique. Si nous ne faisons rien, tout un pan de la société passera à côté de cette nouvelle économie.

L'heure est désormais aux actions fortes, pour renverser la tendance. Si l'éducation à l'égalité et au numérique est une condition préalable et essentielle, la mixité pourrait être atteinte avec 40 % d'étudiantes dans les filières du numérique (classes préparatoires et filières des grandes écoles et des universités) d'ici 2020.

Pour atteindre cet objectif à l'horizon 2020, il pourrait être mis en place une politique d'incitation positive. Ainsi, si les établissements parviennent rapidement à une proportion de 40 % de filles, ces derniers pourraient être récompensés par une labellisation ou une subvention.

Valoriser les formations pleinement engagées pour la mixité numérique par l'obtention d'un label : l'exemple de la Grande École du Numérique

La Grande École du Numérique a pour but de favoriser la mixité des publics dans le secteur du numérique et de faire bénéficier les femmes des opportunités offertes par le numérique. Les formations labellisées ont ainsi pour objectif d'accueillir au moins 30 % de femmes au sein de leurs promotions d'apprenants.

La Web@cadémie, par exemple, a lancé son programme « Ambition Féminine », qui accueille une promotion majoritairement féminine. La Grande École du Numérique valorise également les formations dont le format permet à des mères de famille de suivre la formation grâce des horaires conciliables avec une vie de famille. Le développement du mentorat de femmes, à l'image des actions menées par *Social Builder*, est valorisé en vue de l'obtention du label.

Source : GEN, « Favoriser la mixité dans le secteur du numérique », février 2017

Le renversement du déficit de filles dans les écoles informatiques et d'ingénieurs est loin d'être irréaliste s'il s'accompagne d'un cadre qui permet de penser l'inclusion des femmes dans le monde professionnel du numérique et ainsi de changer les cultures et les pratiques. Il est, à cet égard intéressant de s'arrêter sur des exemples étrangers d'établissements supérieurs qui sont parvenus à augmenter de manière significative le nombre d'étudiantes et de chercheuses dans les filières numériques. On a pu constater que le mentorat des filles en informatique leur procure un avantage majeur et qu'il améliore leur participation et leur confiance dans les études et carrières techniques et scientifiques.

L'heure est désormais aux actions fortes, pour renverser la tendance

S'inspirer de programmes en faveur des femmes dans certaines écoles d'informatiques étrangères

Constatant dès 1995 une chute de la part des femmes dans leurs filières d'étude informatique, la Norwegian University of Science and Technology (NTNU) et Carnegie Mellon University (CMU) se sont lancées dans une opération de grande envergure pour réintroduire la mixité dans leurs classes.

Les chercheuses Chantal Morley et Isabelle Collet ont analysé de tels programmes. NTNU démarre en 1996 une initiative appelée *Women in Computer Initiative* (WCI), sous l'impulsion conjointe de la vice-rectrice nouvellement élue, du vice-doyen de la Faculté Physique-Mathématique-Informatique et du directeur du Département informatique. Un an plus tard, le pourcentage d'étudiantes passe de 6 % à 38 %, et le comité WCI est pérennisé. À la Carnegie Mellon University (CMU)un programme de recherche-action a été lancé par un binôme composé du vice-doyen, professeur d'informatique, et d'une spécialiste en science de l'éducation et genre. Progressivement, le nombre d'étudiantes a augmenté et atteint 39 % en 2000 (contre 7 % en 1995), avec un taux d'abandon identique pour les deux sexes. Le programme de CMU se poursuit encore aujourd'hui *via* un programme de mentorat connectant les femmes à travers les départements de l'école (*source* : MORLEY Chantal et COLLET Isabelle, « Femmes et métiers de l'informatique : un monde pour elles aussi », Cahiers du genre, 2017, nº 62, p. 183-202).

Le laboratoire d'intelligence artificielle de Stanford a, quant à lui, développé un programme d'été gratuit de deux semaines pour former des lycéennes à l'IA. Le programme a été organisé par des étudiants diplômés et des professeurs bénévoles et son impact a été jugé positif.

Au Royaume-Uni, la Charte d'égalité Athena SWAN lancée en 2005 a pour objectif de faire progresser la représentation des femmes dans la science, la technologie, l'ingénierie, la médecine et les mathématiques. Elle permet aux organisations de demander un prix en reconnaissance de leur engagement envers l'égalité et la diversité, et de progrès en ce sens. Le programme a eu un impact favorable sur la mixité dans les institutions participantes.

Cette action doit s'accompagner d'une politique de formation et de sensibilisation des enseignants à ces questions, afin de les aider à détecter les biais et les inciter à mieux orienter les jeunes filles vers ces disciplines. Les chefs et cheffes d'établissement devraient être tenus pour garants de la bonne mise en œuvre des politiques éducatives en faveur de l'égalité et du numérique.

Une action nationale en faveur de la mixité dans la technologie

L'ensemble des actions en faveur de la diversité dans les entreprises du numérique pourraient être portées par une action nationale en faveur de la mixité et de la diversité dans la technologie. Co-construit avec l'ensemble des acteurs du secteur, il afficherait un objectif ambitieux et clair. Par exemple : +30 % de femmes dans le secteur numérique d'ici à 2 ans. Ce plan pourrait être lancé *via* un événement d'envergure nationale. Il devrait s'appuyer sur les associations existantes, en leur donnant plus de moyens pour s'organiser et se mettre en réseau. De nombreuses associations sont en effet très présentes dans les territoires pour permettre aux femmes de prendre toute leur place dans le secteur numérique (*voir encadré*). Les syndicats sont également mobilisés.

Aux niveaux national et régional, différentes instances ont vocation à contribuer à l'impulsion d'une action nationale en faveur de la mixité dans le numérique, à l'instar du Haut Conseil à l'Égalité entre les femmes et les hommes, du Conseil Supérieur de l'Égalité Professionnelle entre les femmes et les hommes ou encore du Centre Hubertine Auclert (centre francilien de ressources pour l'égalité femmes-hommes).

Ces réseaux seraient constitués d'ambassadrices et d'ambassadeurs, qui seront notamment appelés à témoigner dans les écoles, les lycées et les formations supérieures, et à parrainer les nouvelles arrivantes et les nouveaux arrivants au sein de leurs organisations.

Quelques exemples d'associations pour aider les femmes à prendre toute leur place dans le secteur numérique

En France, les associations *Girlz in web*, *Duchess France* ou *Women in Tech*, sont actives pour essayer de faire évoluer les choses en ce domaine et pour faire profiter les femmes des opportunités offertes par le secteur du numérique. Ainsi, *Girlz in web* organise des événements mensuels comme des master class, des tables rondes, agit en réseau, noue des partenariats toujours dans le but de rendre plus visibles les femmes dans le monde du numérique et d'augmenter leur part dans cette économie.

Source : d'après les exemples du rapport d'information de l'Assemblée nationale n° 3318, Femmes et numérique : dépasser les écueils, saisir les opportunités, Délégation aux droits des femmes, par la députée Catherine COUTELLE, décembre 2015

Afin de sensibiliser le grand public aux besoins humains du secteur du numérique et de l'IA, une large campagne nationale pourrait être menée en parallèle afin de mettre en lumière les métiers du numérique et leur ouverture aux femmes. Plus précisément, il s'agit de lancer une campagne de communication visant à modifier la culture masculine du monde du numérique et à lutter contre les mécanismes d'exclusion et d'auto-exclusion. Cette campagne pourrait s'attacher à la mise en avant des biais décisionnels, des biais d'intégration, mais également des phénomènes d'autocensure des femmes.

Quelles sont les conséquences d'une culture hyper masculine pour les carrières des femmes ?

De nombreuses études se sont penchées sur l'importance du taux d'attrition, soit du taux de départ, des femmes dans le secteur des STEM, science, technologies sciences de l'ingénieur, mathématiques. Ainsi, aux États-Unis, dix ans après leur diplomation dans ces matières, seules 25 % des femmes travaillent encore dans le secteur (*source : Women in STEM: Realizing the Potential, livre blanc STEMconnector*, mars 2014).

Après dix ans d'expérience, 41 % des femmes quittent le secteur, contre seulement 17 % d'hommes (*source : Women in IT: The Facts, National Center for Women and Information Technology*, 2010). Il est difficile de comprendre les causes de ces départs. Les chercheurs montrent que le taux d'attrition atteint un pic en milieu de carrière, à l'âge de 35 ans, après une ou deux promotions (*source : voir The Athena Factor: Reversing the Brain Drain in Science, Engineering, and Technology*, 2008 et Women in IT : The Facts, National Center for Women and Information Technology, 2010, à nouveau.)

Passée cette période, les femmes ont parfois le sentiment de ne pas pouvoir continuer à avancer (source : sondage Women in Tech survey réalisé aux États-Unis sur 1000 femmes du secteur des STEM, novembre 2014). Elles se sentiraient isolées dans des équipes majoritairement masculines, sans mentor, sans sponsor ni projet. Elles partent car elles se seraient également senties traitées de manière injuste, moins payées, moins susceptibles d'évoluer que leurs collègues masculins.

En 2017, les géants de la Tech ont été particulièrement touchés par des scandales liés au sexisme. Google a été au cœur d'une controverse après la prise de position d'un ingénieur dans une note diffusée en interne où il justifiait la sous-représentation des femmes dans la Tech… par des « causes biologiques ». Chez Uber, l'ingénieure Susan Fowler a évoqué une prise en compte insuffisante des cas de harcèlement sexuel par les ressources humaines, ainsi que d'autres formes de discriminations et d'humiliations quotidiennes.

2017 a également été marquée par la publication de l'ouvrage d'Ellen Pao Reset, narrant son expérience du machisme au sein de la Silicon Valley. Le sujet

ne semble pas épuisé. En 2018 est sorti l'ouvrage Brotopia : Breaking Up the Boys' Club of Silicon Valley, d'Emily Chang, racontant les « e-parties » de la Silicon Valley, soit des soirées à forte dominante sexuelle, où les femmes ne sont invitées que pour leurs qualités physiques.

Par ailleurs, de nombreuses études ont démontré l'impact positif que pouvaient avoir les rôles modèles pour encourager les filles vers les filières scientifiques et techniques. C'est pourquoi ces campagnes pourraient mettre en avant des exemples féminins de réussite. C'est notamment ce que propose la Commission européenne dans son plan d'action pour l'éducation numérique récemment dévoilé : mobiliser les parties prenantes pour doter les filles de modèles inspirants, de rôles modèles, auxquels elles peuvent s'identifier. Ces modèles inspirants pourraient être des femmes de notre temps, qui se réalisent avec brio dans le secteur du numérique et de l'IA, ou des figures historiques (*voir encadré*).

Le rôle des femmes dans le développement de l'informatique

La sous-représentation des femmes dans le secteur numérique depuis les années 1980 peut s'expliquer en partie par des facteurs sociohistoriques et notamment par le fait que les stéréotypes de l'informaticien et du geek sont de plus en plus prégnants dans l'imaginaire social. Cet imaginaire et l'absence de rôles modèles féminins ont une influence importante sur les filles mais aussi sur les garçons. Pourtant l'informatique n'a pas toujours été l'apanage des hommes. Des femmes ont été pionnières dans ce domaine. Ainsi, le développement du premier programme informatique a été réalisé par Ada Lovelace en 1843. La première thèse en informatique a été soutenue aux États-Unis par Mary Keller. Le premier compilateur ouvrant la voie aux langages de programmation a été créé par Grace Hopper. On doit également à des femmes également la programmation du premier ordinateur entièrement électronique en 1946 ou encore l'atterrissage sur la lune à des équipes dirigées par Margaret Hamilton.

Mettre en place une base de données nationale sur les inégalités entre les femmes et les hommes au travail

De nombreuses études s'attachent à identifier les facteurs qui mènent les femmes à quitter le secteur numérique. Organisation du travail, biais collectivement intériorisés dans les interactions, phénomènes d'invisibilisation, difficultés de promotion… : les raisons peuvent être nombreuses. Cependant, avant de commencer à agir sur l'une d'entre elles en particulier, il est nécessaire de disposer de données plus précises quant aux discriminations hommes-femmes à l'œuvre, au sein des entreprises.

Si les milieux de l'informatique et de l'IA sont peu attractifs pour les femmes, pour des raisons qui peuvent être complexes à formaliser, ils peuvent aussi l'être pour des raisons qui peuvent être pointées de manière objective. Il serait donc utile de constituer une base de données permettant de les identifier, dans ce secteur, comme dans les autres.

Quantifier les inégalités au travail

La contribution à cette base de données pourrait être rendue obligatoire, à l'instar des obligations de *reporting* RSE qui s'appliquent aux grandes entreprises. Cette base permettrait ainsi de mesurer les progrès accomplis d'année en année et de donner un cap aux politiques publiques. Ce corpus n'a pas pour objectif de dénoncer une entreprise particulière, mais de faire avancer la réflexion collective et l'analyse publique. Les données qui seraient rendues publiques seraient donc anonymisées. Les entreprises qui auraient contribué à cette base pourraient s'en prévaloir et mettre en avant leur ambition de diversité (*voir encadré*). Cette base de données devrait également être alimentée par la puissance publique, afin d'encourager son exemplarité dans ce domaine. Cette base de données devrait être exigeante dans les indicateurs retenus :

- taux de mixité comex et comdir ;
- taux de mixité dans les équipes ;
- taux de mixité dans les nominations, les promotions et les embauches ;
- taux de mixité par niveau hiérarchique et par type de poste ;
- différence de salaire sur différents postes, à différents niveaux hiérarchiques ;
- soutien à l'intrapreunariat et à la constitution de réseaux féminins.

S'inspirer des indicateurs produits par le Syntec numérique sur la féminisation des métiers du numérique

Créé en juillet 2011, le Programme Femmes du Numérique du Syntec numérique a pour objectif de promouvoir l'égalité entre les hommes et les femmes dans l'écosystème numérique et de mettre en avant l'attractivité de la profession auprès des jeunes femmes. À cette fin, Femmes du numérique s'est doté d'indicateurs référents pour suivre les efforts accomplis dans le secteur du numérique en vue de favoriser l'égalité professionnelle entre les femmes et les hommes. Cette enquête pourrait ainsi fournir des éléments dans le cadre de la base nationale proposée.

Cette base de données permettrait de mesurer l'impact des actions engagées en matière d'égalité et de mixité. La production de ces indicateurs et la gouvernance de cette base pourraient être pilotée par le Conseil Supérieur de l'Égalité Professionnelle entre les femmes et les hommes (CSEP) dans le cadre de sa mission d'évaluation et du suivi des politiques relatives à l'égalité professionnelle.

Promouvoir la transparence des processus de recrutement et de promotion

Il est nécessaire d'accompagner cette politique de la donnée d'une politique de transparence sur les processus de recrutement et de promotion. Si les processus sont souvent formalisés dans les grands groupes, ils le sont moins dans les petites entreprises et les startups. En lien avec la *FrenchTech*, une action de sensibilisation à la transparence dans la gestion des ressources humaines pourrait être mise en place. Cette action pourrait être accompagnée d'une mise à disposition de conseils pour les jeunes entreprises sous dotées en compétences RH.

Mener une enquête permettant de mesurer effectivement les discriminations entre les femmes et les hommes dans le secteur du numérique

Deux entrepreneures ont récemment fait l'exercice de se doter d'un collaborateur masculin fictif, et ont constaté un changement de considération important de la part des financeurs et investisseur[3]. Cette expérience intéressante et alarmante mérite d'être prise au sérieux.

3. *Le Monde*, « Comment deux entrepreneuses s'inventent un collègue masculin pour convaincre les investisseurs », 8 septembre 2017.

Une action d'évaluation pourrait être menée, pourquoi pas *via* des A/B tests mesurant la différence de financements obtenus avec ou sans collaborateur masculin. Toutes choses égales par ailleurs (égalité de qualification, identité de proposition de valeur etc.), l'enquête pourrait permettre de mieux mesurer l'existence, ou non, de biais de financement, de recrutement ou tout autre élément décisif pour la progression de carrière, de perception des femmes – par les femmes ou les hommes – dans leur rapport à l'ambition, à la compétition et à l'argent.

Favoriser la recherche en IA en faveur de la détection des discriminations

Il existe déjà des solutions permettant d'identifier les discriminations professionnelles. Ainsi, la société *Palatine analytics*, en analysant des enquêtes, des témoignages d'employés, des données salariales, de promotion etc. a pu détecter de nombreux biais en défaveur des femmes. Il serait intéressant de favoriser la recherche permettant de développer des solutions similaires.

Réserver des fonds en faveur de la diversité

Un fonds en faveur de projets développant des IA inclusives et non discriminantes pourrait être mis en place chez BPI France ou à la FrenchTech, également en faveur d'entreprises du numérique porteurs de projets à fort impact social et environnemental, et s'engageant en faveur de la diversité et de la mixité. Par exemple, des projets en IA liés au débiaisage des données utilisées par les algorithmes d'apprentissage pourraient être soutenus. Les entreprises financées devront être particulièrement actives dans la promotion de la diversité au sein de leurs effectifs, et s'engageront à témoigner au sein des écoles.

Des bourses d'étude et de recherche pourraient également être prioritairement octroyées par le secteur privé à des femmes et des personnes issues des minorités, ou socialement défavorisées. À titre d'exemple, la Fondation L'Oréal récompense les femmes scientifiques et met en valeur leur travail avec le programme Pour les femmes et la science.

Développer la médiation numérique et l'innovation sociale pour que l'IA bénéficie à tous

Face à l'ampleur des transformations à venir par l'IA, il est de notre responsabilité collective de s'assurer que personne ne soit mis de côté. Pour que chacun puisse véritablement bénéficier des avancées de l'IA, nos procédures d'accès aux droits doivent évoluer, et nos capacités de médiation considérablement se renforcer. De même, les opportunités d'innover par l'IA doivent

irriguer l'ensemble des champs d'activités, y compris l'action sociale et les réseaux du *care* (le *prendre soin*).

Activer l'accès aux droits fondamentaux et aux services publics

Depuis quelques années, les rapports se multiplient pour alerter les pouvoirs publics sur les risques d'inaccessibilité des services publics et de recul de l'accès aux droits sous l'effet de la dématérialisation. Ces phénomènes sont d'autant plus graves qu'ils affectent une partie substantielle de la population – en particulier, les personnes en situation de précarité et/ou éloignées du numérique (*voir encadré*) – et qu'ils sont susceptibles de s'accentuer dans les prochaines années.

12 millions de Français éprouvent des difficultés à accomplir des démarches administratives courantes

D'après l'enquête du Défenseur des droits publiée en février 2017, près de 12 millions de Français éprouvent des difficultés à accomplir les démarches administratives courantes, par exemple pour déclarer ses revenus en ligne, télécharger ou remplir un formulaire sur Internet. L'expérience de ces difficultés conduit près de 12 % des usagers à abandonner leurs démarches, notamment en matière de justice (36 %), auprès du Trésor public (14 %) et des organismes de Sécurité sociale (13 %).

Pour que la transformation des démarches administratives par l'IA ne soit pas un facteur d'éloignement, mais d'activation des droits, la stratégie des pouvoirs publics doit être double. D'une part, elle doit viser à améliorer la connaissance pour le grand public des règles administratives et de leur application à une situation personnelle, jusqu'à rendre automatique le traitement de certaines procédures répétitives. En complément, elle doit permettre de déployer de nouvelles capacités de médiation et d'accompagnement transversal des personnes qui en ont besoin, en lien avec les réseaux d'aidants présents sur le territoire.

Créer un système automatisé d'aide à la gestion des démarches administratives

Le manque d'information (difficulté d'accéder à l'information, de contacter quelqu'un, ou la simple méconnaissance des recours possibles), l'expérience de frictions dans les procédures en ligne (demande répétée de pièces justificatives, multiplicité des guichets et interlocuteurs…), le non-traitement des demandes (que ce soit par omission, erreur, retard ou insuffisances de moyens) et le sentiment d'inutilité de la démarche expliquent en grande partie les phénomènes d'abandon ou de non-recours aux droits. Pour y remédier, la puissance publique doit repenser le *design* des démarches administratives pour faire en sorte que les citoyens se sentent davantage destinataires de l'offre de services publics. À cette fin, elle peut mobiliser l'intelligence artificielle pour absorber

Pour que chacun puisse véritablement bénéficier des avancées de l'IA, nos procédures d'accès aux droits doivent évoluer, et nos capacités de médiation considérablement se renforcer

la complexité administrative, fluidifier et personnaliser l'expérience d'utilisation des services publics (accès à une information de qualité et contextualisée transversale à plusieurs administrations, délégation de certaines tâches administratives répétitives…). Un challenge ouvert pourrait être lancé pour développer une plateforme d'aide à la gestion et à la réalisation des démarches administratives basée sur l'intelligence artificielle :

– cette plateforme permettrait notamment d'aider les usagers à exprimer leurs besoins et à les requalifier en langage administratif avec l'aide de techniques de traitement du langage naturel ; d'élaborer un prédiagnostic à partir de l'analyse comparée avec d'autres situations similaires ; d'apporter une information personnalisée et contextualisée à l'usager pour le remplissage de leurs démarches administratives, voire de gérer la réalisation de certaines tâches administratives ; de réorienter l'usager vers une aide complémentaire en ligne ou un expert ;
– dans un premier temps, cette plateforme serait orientée sur les démarches administratives les plus simples et répétitives, celles qui sont les plus sollicitées par les usagers (nombre d'actes) et qui enregistrent les plus forts taux d'abandon des démarches ou de non-recours aux droits (le trésor public pour le recouvrement des impôts – 12 %, la caisse primaire d'assurance maladie - 8 %, la Caisse d'allocation familiale - 8 %, puis la préfecture (4 %) pour l'attribution des titres de séjours des ressortissants étrangers, gestion des véhicules professionnels et particuliers et des permis de conduire, pour l'identification et l'immatriculation des associations ou encore pour l'organisation des manifestations) ;
– l'architecture et le fonctionnement de la plateforme devraient impérativement être centrés sur l'expérience utilisateur : recours à des experts en UX Design, organisation de tests de parcours utilisateurs, appui sur les acteurs de la médiation, etc. L'objectif est de mieux prendre en compte les frictions qu'ils rencontrent et d'y remédier en rendant le design de l'interface et des relations plus intuitives.

Élaborer une grille des niveaux de médiation nécessaire pour les services publics dématérialisés

Afin de garantir la confiance des usagers dans les démarches administratives (partiellement ou totalement automatisées), il sera essentiel d'organiser le recours à une intervention humaine. En effet, à terme, si des tâches sont réalisées automatiquement en ligne et des décisions administratives prises, c'est aussi une condition d'acceptabilité par les usagers de l'action administrative. *A minima*, il semble donc essentiel de reconnaître à l'administré :

– le droit de savoir à qui il s'adresse, qu'il s'agisse d'un agent public ou bien d'un assistant virtuel (principe d'identification) ;
– le droit de recourir à un être humain en cas d'erreur ou de problème dans l'utilisation du service (principe de recours à un humain)

Selon la nature des services rendus de manière automatisée, différents niveaux d'assistance humaine pourraient être exigés sur la base d'une grille de référence (*voir les travaux menés par la Fing sur la médiation autour des systèmes sociotechniques*). Cette grille permettrait aux administrations ayant

recours à un dispositif automatisé d'aide ou de prise de décision de mesurer la qualité de l'offre d'assistance et médiation qu'elle propose aux usagers. Elle permettrait ensuite d'évaluer le niveau de médiation requis pour le bon fonctionnement du service, et de fixer :

– un pourcentage du budget initial à dédier à la médiation autour du service ;
– un pourcentage des économies d'échelles réalisées par l'automatisation au financement d'initiatives de médiation numérique, internes ou externes à l'administration ;
– un pourcentage des effectifs (et/ou du temps de travail des effectifs) dédiés à des activités de médiation et d'accompagnement humain.

Cette grille pourrait servir de source d'inspiration pour les acteurs privés qui souhaitent développer des bonnes pratiques en matière de médiation autour des systèmes algorithmiques.

Vers une échelle de responsabilisation sur la médiation (Nos Systèmes, La Fing)

La Fing propose d'imaginer une échelle d'évaluation de la médiation / responsabilisation permettant de noter le nombre de modalités de médiation accessibles, d'évaluer le niveau d'assistance et de réponse offertes par le système. Par exemple, « Niveau 0 : aucune modalité d'assistance, voire difficulté à trouver une information », « Niveau 1 : on peut joindre le système seulement en dehors du système (email, numéro vert, panic button », « Niveau 2 : des systèmes auto assistants », « Niveau 3 : personnalisation des réponses », « Niveau 4 : modalités de médiation organisées et distribuées, obligation de répondre…), « Niveau 5 : assistance déportée même en dehors du système »…

Former massivement les agents publics à la médiation numérique

La dématérialisation – et *a fortiori* l'automatisation – des services publics va aller de pair avec un besoin croissant de dialogue et de médiation humaine de proximité, notamment envers les personnes les plus vulnérables. Le rôle d'accompagnement des publics des agents administratifs en sera d'autant plus central.

Le développement de l'intelligence artificielle au sein de la fonction publique ne sera bénéfique que s'il améliore les conditions de travail des agents publics au bénéfice des usagers

Le développement de l'intelligence artificielle au sein de la fonction publique ne sera bénéfique que s'il améliore les conditions de travail des agents publics au bénéfice des usagers. L'optimisation des processus administratifs doit poursuivre l'objectif d'encapacitation des agents (aide à la recherche d'informations sur des exceptions de procédures ou ne relevant pas directement de leurs champs de compétence, saisie et transmission automatique d'informations…) et de recentrage de leurs fonctions sur l'accompagnement humain des personnes en difficulté et la recherche d'une meilleure coordination

institutionnelle entre les acteurs intervenant dans la prise en charge (administrations, aidants, associations…). En effet, l'accueil, l'orientation, l'accompagnement des usagers nécessite une approche coordonnée des acteurs de terrain, à l'inverse d'une approche par publics, par guichet ou par dispositif qui prédomine actuellement.

Il est dès lors nécessaire de former massivement les agents publics à l'accompagnement des publics, tout en renforçant les liens avec les acteurs de la médiation numérique et des professionnels de l'action sociale sur le territoire (tiers lieux, associations, fondations…).

Faire des EPN des espaces de sensibilisation et de remontée des biais discriminatoires dans l'accès automatisé aux services de base (logement, emploi, soins…)

Plusieurs études ont montré que l'automatisation des tâches par une machine ne conduit pas forcément à un lissage des biais subjectifs des procédures humaines. La puissance publique doit donc se doter de capacités pour mieux comprendre, détecter et lutter contre ces formes de discriminations algorithmiques, en particulier lorsqu'elles conditionnent l'accès à un service de base : l'accès au logement et à l'énergie, aux soins, à l'emploi et à la formation, au crédit. Ces capacités peuvent être d'ordre technique (*voir proposition sur les procédures d'audit des algorithmes dans la partie éthique*) ou bien d'ordre institutionnel.

En effet, la puissance publique doit développer de nouveaux canaux de transmission avec les citoyens pour faire remonter ces expériences de terrain et procéder à des tests en conditions réelles. Pour cela, elle peut s'appuyer sur le réseau de la médiation numérique et des associations de protection des droits.

En lien avec les associations de lutte contre la discrimination et de défense des droits de l'homme, les Espaces publics numériques (EPN) pourraient :

- proposer des conférences de sensibilisation sur les risques de discrimination algorithmiques ;
- organiser des panels tests avec les citoyens afin de tester et détecter les biais éventuels ;
- lancer des recherches-actions pour mieux comprendre la formation de certaines formes d'exclusion ou de marginalisation en ligne.

La qualité et la représentativité des jeux de données sur des populations d'individus sont corrélées à leur appartenance sociale

Dans leur publication « *big data's* Disparate Impact » (2015), Solon Barocas et Andrew Selbst (Université de Princeton) montrent que la qualité et la représentativité des jeux de données sur des populations d'individus sont corrélées à leur appartenance sociale. Ils distinguent plusieurs catégories de publics dits à risques : les « *uncounted* » (individus faiblement engagés dans l'économie formelle et donc dans des activités générant des données), les « *unaccounted* » (individus disposant d'un accès limité à Internet ou n'étant pas suffisamment à l'aise avec les usages numériques pour avoir une activité) et les « *discounted* » (individus qui, du fait de leur situation économique).

Soutenir les innovations sociales basées sur l'IA

À l'heure actuelle, les capacités d'innovation par l'IA restent très concentrées au sein d'un petit nombre d'entreprises. À l'exception de la santé, les champs sociaux reçoivent une part minoritaire des investissements privés. Cette structuration de l'écosystème d'innovation en IA a des conséquences sur la vitesse des progrès réalisés dans les champs sociaux.

Afin de redistribuer ces capacités d'innovation, la puissance publique pourrait lancer des programmes spécifiques pour accompagner l'innovation d'IA en matière sociale, et outiller les acteurs sociaux afin qu'ils puissent bénéficier des avancées liées à l'IA.

Mettre à disposition des acteurs de l'action sociale (administration, professionnels de l'action sociale, association…) un pôle de ressources et de compétences en IA

La puissance publique pourrait soutenir la diffusion des capacités d'innover par l'IA dans le champ social aux acteurs qui jouent un rôle clé dans l'accompagnement des personnes – à savoir les associations, les acteurs de la médiation, les entreprises sociales, etc. Pour cela, elle pourrait :

– faciliter la mise en relation entre les entreprises et les associations sur des projets d'IA ;
– mettre à disposition des ressources (données, capacités de calcul…) ;
– créer un pôle de compétences (experts en IA, data-science…) pour permettre aux associations de proposer et de développer des prototypes des services d'accompagnement des personnes basés sur l'intelligence artificielle.

Data for Good

Data for Good est une communauté rassemblant plus de 300 ingénieurs et *data scientists* bénévoles souhaitant mettre leurs compétences au service de la résolution des problèmes sociaux de grande envergure. Trois fois par an, un nouveau programme d'accélération est lancé pour développer une dizaine de projets portés par des volontaires. Ce programme de 10 semaines permet aux volontaires d'être accompagnés par des mentors et d'assister à des ateliers pour améliorer leurs compétences. Voici quelques exemples de projets : analyse prédictive pour l'aide alimentaire, en partenariat avec la Croix-Rouge, *matching* de mentorat en faveur de l'égalité des chances, en partenariat avec l'association Frateli.

Documenter les effets des robots sociaux dans l'accompagnement des personnes

Les progrès combinés de l'IA et de la robotique conduisent également à l'apparition de nouvelles formes d'accompagnement des personnes à des fins médicales ou de bien-être : les « robots sociaux » ou « assistants automatisés ». Le développement des capacités d'empathie de ces machines – c'est-à-dire de leurs capacités à exprimer une émotion particulière pour s'adapter à son interlocuteur à un moment donné – peut s'avérer bénéfique pour personnaliser, rassurer l'utilisateur. Toutefois il soulève des questions majeures concernant

la perception de ces technologies par leurs bénéficiaires, et leur degré d'acceptabilité sociale. Avant d'envisager leur déploiement, il conviendrait de :

- soutenir les recherches en sciences sociales et sciences cognitives sur les relations affectives qui peuvent se nouer entre le bénéficiaire et la machine, et leurs conséquences éventuelles (risque de dépendance, d'exploitation des vulnérabilités émotionnelles, de confusion avec l'empathie humaine…) ;
- encadrer l'élaboration de corpus de données sur les émotions obtenues dans des contextes réels et leurs utilisations potentielles à des fins commerciales ou de surveillance ;
- ouvrir un débat de société sur la place et le rôle des machines automatisées dans l'accompagnement des personnes en situation de dépendance ou de handicap.

Encourager le développement des technologies d'assistance et d'aide à l'accessibilité numérique

Alors que les exigences d'accessibilité des interfaces numériques pour les personnes en situation de handicap sont souvent pensées après coup, en surcouche, certaines solutions basées sur l'IA permettent de les prendre en compte de manière plus intégrée dans la conception des interfaces. L'IA pourrait également faciliter le travail des développeurs et designers d'interfaces grâce à des outils d'analyse automatique de l'accessibilité numérique (conformité au Référentiel Général d'Accessibilité – RGAA) ou à l'aide à la conception d'interface (comme *Thegrid.io*, *textocode*). Dans le cadre de la politique d'accessibilité, la puissance publique pourrait donc soutenir le développement d'une telle offre d'outils et/ou en promouvoir l'usage.

À long terme, la prise en compte *ex ante* des normes d'accessibilité pourrait prendre une importance moindre compte tenu du perfectionnement des technologies d'assistance. Certaines technologies d'assistance basée sur l'IA permettent d'améliorer les conditions de vie des personnes en situation de handicap. Par exemple, Facebook a développé un dispositif de reconnaissance automatique d'images et de leurs composantes pour les personnes malvoyantes qui s'adapte aux préférences et centres d'intérêt de leur utilisateur. L'outil *DeepMind* de Google s'appuie sur une technologie de lecture labiale automatique pour permettre aux personnes malentendantes de mieux comprendre et de restituer une discussion. Récemment, *Salesforce* a lancé un algorithme de résumé et production automatique de texte pour les personnes souffrant de troubles de l'attention. La puissance publique pourrait stimuler le développement d'applications IA en matière de dépendance et handicap, et à ce titre :

- soutenir les démarches d'investissement orientées vers les projets d'IA dans les champs de la dépendance et du handicap, à l'instar du fonds d'investissement en capital-risque consacré à l'intelligence artificielle lancé par Microsoft en 2017 ;
- favoriser le développement de partenariat sur des technologies d'IA mêlant entreprises, associations, communautés d'aidants, établissement de recherche.

Éthique autonome

La voiture autonome, c'est une affaire qui va rouler dans les prochaines années. Les constructeurs automobiles promettent les premiers modèles dès 2020. Google expérimente un service commercial de taxis autonomes dans la banlieue de Phoenix. Uber a signé un partenariat avec Volvo pour acquérir plusieurs dizaines de milliers de véhicules à conduite autonome.

La voiture autonome pose des problèmes techniques non encore résolus. Par exemple, les capteurs ne fonctionnent pas correctement dès qu'il y a des intempéries ou des imprévus.

La voiture pose aussi des problèmes de société. Les assureurs planchent sur le statut de la voiture du futur. Ils se demandent qui sera le responsable si un incident intervient. Est-ce le fabricant de l'intelligence artificielle qui pilote la voiture ? Ou est-ce le constructeur ?

Les questions se posent aussi sur l'éthique de ce pilote automatique. Que va-t-il se passer si la voiture doit choisir entre écraser un piéton ou conduire ses passagers à une mort certaine en sortant de la route ? Est-ce que cela changera s'il n'y a pas un, mais dix piétons ? Et si dans ses piétons, il y a par exemple le président de l'entreprise qui fabrique la voiture autonome ?

Si on peut multiplier les interrogations, il est clair que la voiture autonome ne pourra jamais y répondre. Les machines n'ont ni éthique ni intelligence. Nous leur prêtons les nôtres quand nous les concevons.

D'autres interrogations se posent aussi sur les comportements des humains. S'il y a fort à parier que nous refuserons un jour de monter à bord d'une voiture conduite par un humain, on pourrait aussi, comme dans DÉRAPAGES CONTRÔLES, utiliser les voitures autonomes pour se suicider ou commettre des meurtres. Qui serait alors responsable ? L'humain auteur de ces crimes, le fabricant de l'IA qui n'a pas envisagé cette dérive, le constructeur automobile qui n'a pas fiabilisé son IA ?

Zoya prend place dans la voiture de Bierstein. L'engin étant autonome, le célèbre producteur s'occupe en ayant des gestes déplacés.

– Très belle voiture autonome, dit Zoya.

Bierstein a un discret haussement de sourcil. Alors que toutes les voitures sont désormais autonomes, même des jeunes comme Zoya continuent de le préciser.

– C'est une œuvre de Bellostock. Les tatouages sont réalisés sur des peaux fabriquées à partir de mes cellules souches. Vous êtes assise sur un bout de moi-même.

Zoya apprécie le travail de ce tatoueur de renom. Les peaux artificielles qui décorent la voiture sont des œuvres étonnantes. Cela n'empêche pas que Bierstein est une vieille peau et qu'être installée sur une de ses excroissances n'est pas confortable.

– C'est beau ! C'est étonnant ! Les artistes ne savent plus quoi inventer, dit Zoya pour dire quelque chose.

– Vous aussi, vous êtes très belle, dit Bierstein en accompagnant sa réponse d'un sourire si large que la peau tendue et retendue de son visage menace de craquer.

Ce séducteur aux propos médiocres n'est pas pour autant un débutant.

Bierstein est le plus important producteur de films holographiques. Ce magicien du nouveau cinéma enchaîne les conquêtes en piochant dans son vivier d'actrices.

– Il n'y a plus du tout de volant dans votre voiture ?

Bierstein secoue la tête. Décidément, les artistes vivent dans un autre monde. Toutes les voitures de luxe n'en possèdent plus.

– Je n'en ai vraiment pas besoin. J'indique ma destination et ma voiture m'emmène là où je veux aller. Cela laisse du temps libre… Il y a dans la vie des choses beaucoup plus intéressantes que la conduite, dit-il en déplaçant sa main gauche sur la cuisse de Zoya.

– Moi, j'apprécie la bonne conduite, dit Zoya en retirant la main de Bierstein.

Bierstein conserve son sourire de momie tout en pensant qu'il a les moyens de faire céder la demoiselle à son charme.

– J'ai une idée. Cela vous dit qu'on aille chez Chamoiseau, le nouveau 5 étoiles. C'est un ami. Il y a toujours une place pour moi et les charmantes jeunes femmes.

– Je n'ai pas faim.

Bierstein abandonne quelques secondes son sourire de momie. Il est contrarié. Il n'aime pas qu'on lui résiste. Si Zoya veut obtenir le rôle principal dans la nouvelle série holographique, elle va devoir se montrer plus conciliante.

– Chez Chamoiseau, on ne mange pas par faim, mais par plaisir. Il cuisine à l'ancienne sans intelligence artificielle. Il prend le temps de faire mijoter chaque plat. Comme dit ma mère : en amour comme en cuisine, ce qui est vite fait est mal fait.

Il profite de l'évocation de sa mère pour passer les bras autour du cou de Zoya.

– Je suis un régime moléculaire, dit Zoya en retirant le bras envahissant de son cou.

– Alors je vous propose un bain de minuit dans ma piscine. Menthe, fraise, anis… Quel goût voulez-vous ? Pour la température, 28° vous conviendra-t-il ou c'est trop chaud ? Un clic et l'eau sera à votre goût.

– Je n'aime pas les piscines. Quand on sort, on a toujours l'impression d'être un légume mal décongelé, grommelle Zoya.

– Un légume mal décongelé ! Mais, vous êtes adorable, dit Bierstein en posant ses lèvres sur celles de Zoya.

La jeune femme tourne la tête à temps.

– Alors, où voulez-vous aller ? demande Bierstein.

– Je ne sais pas.

À ce moment la voiture fait un écart pour éviter un lapin. Bierstein profite de l'élan pour s'écraser sur Zoya et prendre ses seins dans les mains.

Zoya s'éloigne au bout de la voiture en disant :

– Si j'ai une idée. Je vais programmer notre destination. Vous la découvrirez quand nous arriverons.

Bierstein hésite. Il déteste qu'on touche à son joujou de milliardaire. Mais, comme cela semble mettre Zoya dans de bien meilleures dispositions, pourquoi pas la laisser faire.

– Zoya pianote sur le clavier.

– Vous n'avez pas besoin de fournir de longues explications à la voiture. L'IA de la voiture est très performante. Une destination suffit. Elle va analyser votre souhait et emprunter le meilleur chemin.

Après avoir programmé leur parcours, Zoya est plus détendue. Elle lui parle de son métier d'actrice de théâtre. Elle adore jouer dans plusieurs salles en même temps, même s'il y a parfois des dysfonctionnements avec les projections holographiques. Comme les plateaux n'ont pas toujours les mêmes dimensions, les spectateurs ont parfois l'impression qu'elle joue incrustée dans un mur.

Bierstein tente de nouveaux baisers, puis abandonne. Zoya lui réserve une surprise. Le mieux est d'attendre.

– Je commence à avoir une petite idée de notre destination, finit-il par dire. On se dirige vers la mer. Je parie sur les falaises d'Etretat. Très bon choix. Le lever de soleil sur la mer est une des choses que je préfère au monde. Vous les femmes, vous avez une intuition qui m'étonnera toujours.

Zoya secoue la tête. Même si Bierstein est une vieille peau, il ne peut que savoir qu'il faut deux clics pour accéder à la liste de ses passions.

– On s'arrête ? s'étonne Bierstein.

– C'est ma maison. Je vais prendre un pull et je reviens, dit Zoya.

Les femmes étonneront toujours Bierstein. Toutes semblent résister à ses avances, mais finissent par céder. Enfin, rares sont celles qui l'invitent chez elles. Un lever de soleil sur la mer, puis une invitation à partager la couche d'une actrice à la beauté exceptionnelle dans un charmant cottage ! À cet instant, Bierstein déguste une solide tranche de bonheur.

Zoya descend de la voiture et reste sur le trottoir à la regarder s'éloigner. Elle ne regrettera pas ce producteur harceleur.

Le lendemain Bierstein ne fait pas la une de l'actualité pour ses harcèlements et agressions sexuels, mais pour son saut fatal en voiture depuis les falaises d'Étretat. Dans tous les médias, l'intelligence artificielle de sa voiture est responsable de l'accident. Pour les uns, elle a mal évalué les distances. Ce genre de problèmes est fréquent même dans les voitures de luxe. D'autres pensent qu'elle a été hackée. Des pirates l'ont trafiquée pour réagir à la dernière déclaration de Bierstein où il affirmait que les femmes jouissent encore plus lorsqu'elles sont violées. Les AI ont si mauvaise presse ces derniers temps, que pas un n'imagine que l'accident puisse être un meurtre.

Focus sectoriels

Focus 1 –

Transformer l'éducation



Notre première fiche concerne l'éducation, dans laquelle l'IA est attendue pour de grands bénéfices potentiels qui s'accompagnent de grandes incertitudes. Notre choix de mettre cette action en première place ne traduit pas une volonté de précipiter cette mise en œuvre ; elle traduit plutôt l'urgence à développer des expérimentations.

Enseigner à l'heure à l'IA

Dans une société automatisée, se former en permanence sera une nécessité. Dès lors, tous les acteurs de l'enseignement sont appelés à se transformer pour inscrire l'activité d'apprentissage dans une approche « tout au long de la vie » (plus de séparation entre formation initiale et continue, activité de travail et d'apprentissage) et « en réseau » avec de nouveaux espaces (virtuels/physiques), acteurs et réseaux de sociabilités (assistants virtuels, entreprises, associations, tiers-lieux…).

Dans cette perspective, l'intelligence artificielle ouvre de nouvelles opportunités pour former un grand nombre d'individus de manière personnalisée et adaptative. Il est aujourd'hui difficile pour l'enseignant de prendre en compte la diversité des styles cognitifs et des rythmes d'apprentissage des élèves. En effet, contraints par la nécessité de « boucler » le programme dans le temps imparti, les enseignants personnalisent très peu leurs méthodes d'apprentissage. Cet état de fait pénalise en premier lieu les élèves en difficulté et les décrocheurs. On peut imaginer que le développement de solutions d'apprentissage personnalisées, fondées sur l'IA, pourront considérablement aider les enseignants à déployer des méthode différenciées.

L'intelligence artificielle ouvre de nouvelles opportunités pour former un grand nombre d'individus de manière personnalisée et adaptative

Celles-ci permettraient de proposer des parcours d'apprentissage mieux adaptés aux profils des élèves en tenant compte de nombreuses variables (rythmes d'apprentissage, appétences propres, environnement social…). Concrètement, les élèves n'auraient plus à travailler en même temps sur les mêmes exercices, mais se verraient offrir la possibilité d'avancer selon leurs dispositions personnelles (intérêts, capacités, ambitions…). La personnalisation doit également permettre d'adapter l'enseignement aux apprenants handicapés, en adaptant de manière importante les supports d'apprentissage. Cela peut même aller jusqu'à des organisations davantage modulaires, c'est-à-dire qui pousse la personnalisation jusqu'à penser l'organisation des cours autour de ce principe. La personnalisation ne doit néanmoins pas conduire, du fait d'une éventuelle suradaptation des exercices, à limiter les efforts individuels nécessaires à tout apprentissage.

S'ils répondent à de nouvelles attentes pédagogiques (affirmation de la diversité des styles cognitifs et des parcours d'apprentissage, leviers d'engagement…), ces services ne peuvent en aucun cas se substituer à l'expérience collective d'apprentissage vécue par exemple en classe, ni être perçus comme neutres d'un point de vue pédagogique. Dans un premier temps, il convient donc de faciliter et de multiplier les expérimentations de l'IA sur l'apprentissage tout en évaluant leurs effets sur les processus éducatifs au sens large et

notamment leurs impacts pour l'apprenant (impact sur la sérendipité, la capacité à se concentrer, à agir en collectif, à être créatif…) et le dialogue avec l'équipe pédagogique. À terme, l'enjeu pour la puissance publique consiste à soutenir les solutions éducatives basées sur l'IA qui agissent dans l'intérêt de l'apprenant et permettent de développer une complémentarité capacitante avec la machine.

Les expérimentations doivent être accompagnées de protocoles adaptés et surtout d'une évaluation systématique, qui fait trop souvent défaut. Si le développement des expérimentations doit être un axe majeur, les évaluations doivent pouvoir prévenir les désillusions et dégonfler les bulles, qui sont nombreuses dans ce domaine.

Notre mission propose différentes pistes pour anticiper et accompagner la transformation des matières enseignées, des pratiques d'apprentissage et des métiers d'enseignement à l'heure de l'IA.

Développer une complémentarité capacitante avec l'IA en renforçant la place de la créativité dans l'enseignement

Les évolutions à venir du travail sont telles que la formation ne peut plus se concevoir dans l'optique de préparer à un métier ou une activité connue d'avance. Elles imposent de prendre du recul par rapport à une approche adéquationniste des politiques éducatives. Plus que jamais la mission de l'école est de donner à chacun les capacités pour appréhender les transformations en cours de notre société et s'adapter dans un monde en constante évolution. Et donc de nous accompagner dans la construction d'une complémentarité capacitante avec les machines. En effet toutes les formes d'interactions ne sont pas souhaitables : obéir aux ordres d'une intelligence artificielle, perdre le contrôle sur les processus, déléguer les décisions à la machine sont autant de modes de complémentarité, qui, au niveau individuel et collectif, seront susceptibles de créer de la souffrance au travail. Il faut donc arriver à affirmer que toute complémentarité n'est pas souhaitable et qu'une forme de complémentarité capacitante doit être donc développée. Cela implique d'identifier au préalable les compétences nécessaires pour encapaciter les individus dans leurs rapports avec les machines, en s'appuyant sur les experts des sciences de l'apprentissage et sciences cognitives, les équipes pédagogiques, les chercheurs en IA. Cela signifie de donner à tous une culture générale sur l'intelligence artificielle et sur l'algorithmique, sur les rôles de producteur et de consommateur et les modes de travail spécifiques au développement de ce type de technologie (mode projet…).

Les compétences créatives, sociales et situationnelles seront de plus en plus sollicitées

De plus, si l'acquisition des savoirs fondamentaux et des capacités cognitives transversales (compréhension du langage, capacités à résoudre les calculs et des problèmes…) demeure essentielle, les compétences créatives, sociales et situationnelles seront de plus en plus sollicitées. Dans cette perspective, il est proposé de :

– valoriser et diffuser des expérimentations pédagogiques visant à stimuler la créativité des élèves. L'objectif est de donner aux enseignants de nouvelles capacités d'action, dans une logique de volontariat et de valorisation des

collectifs. Il pourrait se décliner par des financements dédiés, la mise à disposition de ressources clés en main, ainsi que la libération de temps de travail pour permettre aux enseignants de documenter et partager leurs pratiques ;
– élaborer des indicateurs de bien-être et de créativité, sans rechercher une précision trop forte qui serait un leurre, et sans que cela soit utilisé à des fins qui puissent être stressantes ou dévalorisantes ;
– tester de nouveaux dispositifs de formation des enseignants, axés sur le développement personnel et la créativité. Les formations continues labellisées par le Ministère pourraient s'étendre à de nouvelles activités et lieux de création de type makerspaces, fablab, tiers-lieux. Des parcours types de formation à des pratiques pédagogiques innovantes pourraient être proposés ;
– mettre à disposition des enseignants de nouveaux outils pour développer des pratiques pédagogiques en faveur de la créativité : tutoriels pour les aider à organiser des activités créatives, ou leur donner accès à une offre standard de sorties éducatives type à l'échelle de la municipalité.

Développer la maîtrise de l'apprenant sur ses données d'apprentissage en lien avec son équipe pédagogique

Les services éducatifs basés sur l'IA fonctionnent grâce à la collecte et l'exploitation des données produites par l'apprenant lors de son apprentissage. En effet, certaines métriques permettent d'encoder des événements d'apprentissage à partir des changements d'activité enregistrés (s'arrêter sur une vidéo, reculer, recommencer) et donc de décrire des trajectoires d'apprentissage (appropriation, application, réemploi, oubli) afin de proposer un parcours personnalisé. Ces analytiques d'apprentissage permettent d'établir un continuum entre des activités diverses (lire un cours, faire un exercice, regarder une vidéo, faire une activité extrascolaire) et de fournir des informations à l'apprenant pour adapter son apprentissage et dialoguer avec l'équipe pédagogique. Plus encore, elles ouvrent la possibilité pour l'apprenant de faire reconnaître certaines compétences acquises en dehors de l'école (badge, validation par des pairs, certificat de MOOCs…), sous le contrôle d'un tiers de confiance (équipe pédagogique, établissement scolaire, ministère).

Pour faire émerger une véritable R&D de l'IA en éducation, il est question de faciliter l'exploitation des données d'apprentissage sous le contrôle de l'apprenant et/ou de ses responsables pédagogiques. Pour ce faire, il est nécessaire de cartographier les données pertinentes en matière d'apprentissage pour l'apprenant et son équipe pédagogique (données sur l'emploi du temps, données de description sur l'environnement de la classe, notes et événements d'apprentissage…). Ensuite, il conviendrait d'aménager des voies d'accès et d'enrichissement de ses données respectueuses des droits et des intérêts des apprenants. Dans cette optique, des expérimentations pourraient être lancées afin de tester différents dispositifs :

– expérimenter la mise à disposition d'un cloud personnel d'apprentissage visant à outiller le droit de l'apprenant à récupérer ses données et à en contrôler le partage ;
– dans le cadre des activités pédagogiques réalisées en classe, expérimenter avec des enseignants de nouvelles méthodes pour documenter les trajectoires d'apprentissage des élèves en continu (temps de réalisation, difficultés / facilités rencontrées lors d'un exercice…) et rendre

ces informations facilement réutilisables sous la forme d'un portfolio numérique (catégorisation, options de partage avec les autres responsables pédagogiques, etc.).

Ces expérimentations permettraient de documenter les usages autour des données d'apprentissage afin d'identifier les bonnes pratiques, de les formaliser et de les diffuser plus largement. Sur cette base, un dispositif pourrait être mis en place afin de sensibiliser les apprenants, les équipes pédagogiques, les personnels d'établissements à la maîtrise des données d'apprentissage et de leurs usages (guide de bonnes pratiques, élaboration de chartes éthiques…). Ce n'est qu'à cette condition que les données d'apprentissage pourront vraiment servir de supports à une stratégie ou une décision pédagogique partagée.

Accompagner la transformation des relations sociales d'apprentissage et des métiers de l'enseignement

Le développement de l'intelligence artificielle modifie en profondeur le quotidien des enseignants. D'une part, l'IA peut aider l'enseignant à accomplir plus facilement ou à déléguer certaines actions, et donc à libérer du temps pour le suivi de ses élèves. Certaines IA permettent aux enseignants de se repérer dans les programmes, d'accéder à des ressources ouvertes ou à des bibliothèques de projets, de faciliter la gestion administrative d'une classe ou encore d'apporter une assistance à la correction. D'autre part, l'IA révèle de nouvelles informations sur les parcours d'apprentissage des apprenants, et donc engage les enseignants à réinventer leurs pratiques pédagogiques.

Les progrès récents en matière d'IA ouvrent des perspectives intéressantes pour repenser les politiques éducatives mises en œuvre par le ministère

Si les métiers de l'enseignement ont toujours fait preuve d'une grande capacité d'adaptation au changement, l'IA soulève de nombreuses inquiétudes sur l'ampleur des transformations pédagogiques à venir. S'il n'est pas question de remplacer les professeurs par des machines, la disponibilité d'informations fines et en temps réel sur l'apprentissage des élèves implique de transformer le design du cours (choix des exercices, gestion des temps collectifs, appariement des élèves) et progressivement de déplacer la valeur de leur enseignement vers la scénarisation de l'expérience d'apprentissage, et l'accompagnement personnalisé des élèves.

Ces nouvelles métriques d'apprentissage sont appelées à devenir des supports du dialogue pédagogique avec l'apprenant et potentiellement ses parents : meilleure compréhension des parcours d'apprentissage et des difficultés rencontrées, discussions sur les méthodes pédagogiques et des objectifs à atteindre, etc. L'enjeu est donc de documenter les pratiques pour s'assurer que l'IA ne soit pas mobilisée dans des logiques de surveillance ou d'optimisation accrue de performance, mais bien pour augmenter le pouvoir d'agir des enseignants dans l'exercice de leur liberté pédagogique et le dialogue avec les apprenants.

Pour accompagner ces évolutions, il est proposé de :

– privilégier le lancement d'expérimentations sur la base du volontariat, afin d'accompagner les porteurs de projet à tester, documenter et partager leurs retours d'expérience pédagogique ;
– mettre en place un système d'incitation à l'échelle du Ministère (avancement de carrière, bonus…) et/ou dans les réseaux de pair-à-pair (à l'instar des teacher awards au Royaume-Uni).

Transformer les politiques éducatives grâce à l'intelligence artificielle

Les progrès récents en matière d'IA ouvrent des perspectives intéressantes pour repenser les politiques éducatives mises en œuvre par le ministère. En effet, qu'il s'agisse de la lutte contre le décrochage scolaire, la détection précoce de difficultés (dyslexie par exemple), la réduction des inégalités entre élèves ou l'innovation pédagogique, les solutions d'IA actuellement développées permettent de mieux documenter les phénomènes, identifier les besoins et les opportunités d'action, et apporter des éléments de solution nouveaux. Elles sont donc en mesure de transformer durablement les politiques éducatives. Toutefois, pour y parvenir, il est essentiel de définir clairement les objectifs recherchés au regard des différentes missions du ministère, les moyens à allouer pour les atteindre ainsi que les principes censés encadrer leur mise en œuvre.

Il s'agira, en tout état de cause, de gérer et d'utiliser les données des élèves avec la plus grande prudence.

Mobiliser le potentiel de l'IA pour lutter contre les décrochages et faciliter l'orientation

Décrochage et lutte contre les inégalités scolaires

Chaque année, 100 000 jeunes sortent du système scolaire français sans aucun diplôme. Dans le même temps, l'absentéisme demeure un phénomène d'ampleur : 25 % des jeunes de 15 ans déclarent avoir séché[1] certains cours dans les deux semaines précédant les tests PISA[2] (programme international pour le suivi des acquis des élèves). Alors que le décrochage d'un élève se mesure généralement à l'aune d'un parcours d'apprentissage normalisé et d'objectifs pédagogiques préétablis, l'intelligence artificielle permet au contraire de partir de l'apprenant pour maximiser son potentiel. Elle ouvre ainsi des perspectives intéressantes pour :

– mieux comprendre les facteurs à risque susceptibles de faire basculer un élève dans l'absentéisme ou le décrochage scolaire et intervenir en amont en alertant la communauté éducative et en réorganisant le dispositif humain d'accompagnement (ex. : tutorat de pair-à-pair, remédiation avec l'équipe pédagogique et les parents) ;
– travailler sur différents leviers de motivation et d'engagement de l'apprenant en complément des actions menées en classe.

1. Christian MONSEUR et Ariane BAYE, l'absentéisme scolaire en France, comparativement aux pays de l'OCDE, Contribution publiée par le Cnesco dans le cadre de la conférence de comparaisons internationales sur le décrochage scolaire, 2017.

2. Ensemble d'études menées par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), et visant à mesurer les performances des systèmes éducatifs des pays membres et non membres.

Orientation scolaire et professionnelle

L'orientation est un enjeu d'autant plus central que les trajectoires professionnelles deviennent moins linéaires sous l'effet des transformations numériques. De nouveaux dispositifs d'aide à l'orientation basés sur l'IA voient le jour pour aider les apprenants et/ou personnes en recherche d'emploi à construire un parcours d'orientation personnalisé à partir des compétences acquises, ses aspirations, de la configuration du marché de l'emploi (offres à pourvoir, filières sous tension, tendances émergentes, profils des employés dans le secteur considéré) et de l'environnement. Ces dispositifs ouvrent des perspectives intéressantes à condition qu'ils s'inscrivent en complément des actions d'accompagnement menées par les professionnels de l'orientation (conseiller d'orientation, équipe pédagogique, agent de Pôle Emploi…). Ils restent, à ce jour, à un stade très expérimental.

De même il importe de veiller à ce que ces dispositifs ne reproduisent aucun biais discriminant et luttent contre toutes formes de déterminisme social. En effet, les ambitions académiques et professionnelles étant souvent très influencées par notre environnement social, économique et culturel, il importe de veiller à ce que ces dispositifs d'orientation ne renforcent pas la dépendance à ces sentiers par une approche purement probabiliste (sous-jacente aux solutions d'IA), mais bien qu'ils dessinent des alternatives en plaçant les apprenants au centre des choix d'orientation.

Soutenir le développement d'un écosystème Edtech en phase avec les valeurs de notre système éducatif

De nombreuses initiatives visant à améliorer l'apprentissage des élèves par le numérique son en cours de développement. Elles sont portées par des individus, des collectifs et des organisations diverses, tant à l'intérieur des établissements et du ministère (chercheurs, professeurs, agents administratifs, entrepreneurs d'intérêt général, etc.), qu'à l'extérieur (startup *edtech*, acteurs de l'édition…). Elles manifestent l'émergence d'un écosystème *edtech* divers à l'échelle nationale et européenne.

Toutefois, les initiatives *edtech* peinent aujourd'hui à se développer au-delà de leurs cercles initiaux d'utilisateurs. En effet, contrairement à l'enseignement supérieur, le secteur de l'éducation demeure largement national[3]. Les programmes, contenus et objectifs assignés à l'école diffèrent au sein de l'espace européen. Cette fragmentation ainsi que les différences culturelles et la complexité des procédures d'appel d'offres – et plus largement d'acquisition, même à titre expérimental – constituent une importante barrière à l'entrée pour les porteurs d'innovation *edtech*, qui choisissent souvent d'investir dans le secteur éditorial des contenus – pourtant dominé par les acteurs de l'édition – ou cibler d'autres marchés en dehors de l'Union Européenne (américain, coréen et chinois).

3. Anne Barrère, Bernard Delvaux, La fragmentation des systèmes scolaires nationaux.

Ce positionnement stratégique pénalise le développement d'une offre *edtech* européenne et soulève la question de la soutenabilité de notre système éducatif au moment même où les usages éducatifs se déplacent massivement vers des services hors de l'UE (production de contenus sur Google doc, pages de classe sur Facebook…). Si la situation perdure, on peut craindre que ces

initiatives n'atteignent jamais la taille critique nécessaire pour être viables et soient par conséquent supplantées par les services de concurrents étrangers qui s'inscrivent dans un contexte et une tradition pédagogique différents. Pour soutenir l'émergence d'initiatives *edtech* en phase avec les valeurs de notre système éducatif, il est donc temps de mettre en place une politique volontariste sur la gouvernance des données et l'acquisition de dispositifs *edtech* innovants.

Faciliter l'expérimentation en conditions réelles et l'acquisition de dispositifs *edtech* par les établissements

De nombreux porteurs de projet ont fait remonter leurs difficultés d'accès aux marchés éducatifs après la phase d'expérimentation. L'absence d'interlocuteurs identifiés, la faible culture numérique des acheteurs publics et le manque de moyens et de compétences font qu'ils ne remplissent pas les conditions des appels d'offres complexes (surtout pour les petites structures) sont autant de limites au déploiement des initiatives *edtech* dans les établissements. C'est pourquoi il est proposé de :

- débloquer des fonds d'investissement dédiés pour le développement et déploiement d'outils ; *edtech* ;
- créer des bacs à sable réunissant des établissements volontaires et des porteurs de projet ; *edtech* pour des collaborations expérimentales pouvant déboucher sur des procédures de marché public simplifiées (s'inspirer du Partenariat d'innovation Caisse des Dépôts et Consignations – ministère de l'Éducation nationale) ;
- mettre en place des dispositifs d'assistance à la rédaction d'appels d'offres pour les marchés publics à destination des petites structures (*ex.* : écoles primaires, collèges, lycées) ;
- sensibiliser les acheteurs publics à l'achat de services éducatifs innovants ;
- négocier des voies d'accès et de partage de données d'apprentissage détenues par les acteurs numériques qui captent des usages éducatifs (Google avec Youtube et Google Drive, Facebook, LinkedIn, Microsoft, Amazon et Kindle…).

Développer des procédures d'audit des outils *edtech*

Accompagner le développement d'outils *edtech* implique de vérifier que les choix technologiques des solutions IA utilisés dans un contexte pédagogique sont bien conformes aux objectifs de politiques éducatives fixés par le Ministère. L'enjeu consiste donc à documenter les usages éducatifs qui se déploient à partir de ces systèmes, voire à déployer des procédures de contrôle *a posteriori*.

Le déploiement des technologies d'IA dans le domaine soulève de nombreuses considérations éthiques, liées d'une part à la relative opacité de ces technologies et d'autre part aux possibles abus d'usage. Comme toute technologie reposant sur l'apprentissage machine, les systèmes autonomes développés par les acteurs de l'*edtech* demeurent difficilement explicables et donc justifiables. Il est donc essentiel de promouvoir les solutions les plus transparentes et explicables.

Concrètement il s'agit d'inciter les acteurs du marché à développer des systèmes en mesure d'informer les apprenants, parents et enseignants dans des termes intelligibles, sur la logique du traitement opéré (étapes clés du raisonnement), ses implications et potentiels effets ; afin de ménager des espaces de questionnement/contestation limitant les effets prescriptifs des recommandations/décisions émises. En matière d'orientation, cela s'avère d'autant plus nécessaire que les systèmes autonomes sont susceptibles de contenir des biais discriminants à toutes étapes ; des bases de données utilisées, aux traitements opérés par les algorithmes jusqu'aux décisions prises. Il est donc nécessaire de rechercher et combattre activement ces biais afin de garantir l'équité (*fairness*) de ces systèmes.

Accompagner la transformation des métiers au sein du Ministère

Ces profondes transformations doivent être accompagnées par la puissance publique et en premier lieu par le ministère de l'Éducation nationale et le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'innovation. Des structures internes dédiées devraient avoir pour missions :

- de faciliter la concrétisation de projets innovants au sein de l'Éducation nationale et de l'enseignement supérieur ;
- d'animer une veille et une réflexion prospective sur les sujets tels que l'IA et d'acculturer à leur enjeux pour l'Éducation ;
- de permettre la rencontre et les échanges entre tous les acteurs impliqués : enseignants, personnels du Ministère, équipes pédagogiques, chercheurs, entrepreneurs et associations de la société civile, etc.


Focus 2 –
La santé
à l'heure de l'IA

Focus 2 – La santé à l'heure de l'IA

L'intelligence artificielle en santé ouvre des perspectives très prometteuses pour améliorer la qualité des soins au bénéfice du patient et réduire leur coût – à travers une prise en charge plus personnalisée et prédictive – mais également leur sécurité – grâce à un appui renforcé à la décision médicale et une meilleure traçabilité. Elle peut également contribuer à améliorer l'accès aux soins des citoyens, grâce à des dispositifs de prédiagnostic médical ou d'aide à l'orientation dans le parcours de soin.

La vitesse d'évolution et de démocratisation des usages liés à l'intelligence artificielle en santé exige des pouvoirs publics une adaptation rapide sous peine d'assister impuissant à la reformulation complète des enjeux de santé publique et de pratiques médicales. En effet, une surréglementation maintiendrait à court-terme les équilibres existants, mais exposerait à une perte de maîtrise sur les évolutions désirables de notre modèle de santé.

Près de vingt ans après la création de la base nationale des données médico-administratives (SNIIRAM), la France doit à nouveau faire figure de pionnière en investissant massivement dans les capacités de recherche et d'innovation en matière d'IA appliquée à la santé. Ces capacités reposent à la fois sur la mise en place de systèmes adaptés aux usages liés à l'IA visant à *plateformiser* le domaine, des procédures d'accès aux données plus fluides et un cadre pour expérimenter « en conditions réelles » les solutions émergentes. L'appropriation de l'IA en santé dépend également de notre capacité à accompagner les patients et professionnels de santé dans la transformation des pratiques médicales, ainsi qu'à structurer et animer en continu un débat national sur les usages éthiques de l'IA en santé.

L'IA au service de la médecine

Le développement de l'intelligence artificielle stimule l'innovation en santé, à la fois thérapeutique et pharmacologique. En effet, l'IA ouvre de nouvelles opportunités pour innover « à pharmacopée constante » en construisant un diagnostic et une stratégie thérapeutique plus adaptés au besoin du patient, son environnement et son mode de vie. Elle permet en effet de mieux détecter les symptômes et de faire un suivi prédictif du déploiement d'une maladie, d'exploiter les résultats d'analyse (imagerie médicale…), de soumettre de nouvelles hypothèses de diagnostic et de formuler des propositions thérapeutiques plus personnalisées. Elles peuvent aussi améliorer la détection des effets secondaires d'un médicament lors des phases d'essais cliniques, et donc *in fine* avoir un impact positif sur l'innovation pharmacologique (meilleur ciblage thérapeutique, accélération et sécurisation de la mise des médicaments sur le marché, etc.). En matière de recherche médicale, les technologies d'IA facilitent l'exploration des publications scientifiques et l'analyse des résultats de recherches fondamentales grâce à la fouille automatique de données.

Le développement de l'intelligence artificielle stimule l'innovation en santé, à la fois thérapeutique et pharmacologique

Les avancées de l'IA en santé dépendent de nos capacités à croiser des quantités massives de données pour mettre en évidence des corrélations

qui ensuite font l'objet de recherches médicales. La quantité des données disponibles et la qualité de leur annotation sont donc des éléments clés pour faire avancer la recherche sur les applications de l'IA en santé. Il est donc essentiel que notre système de santé se dote des moyens de captation, de structuration et d'annotation des données produites dans le cadre du suivi du patient (données cliniques, données biomédicales, données de bien-être, données environnementales…).

Des résultats ont déjà été obtenus à partir de l'analyse des données du système national des données de santé. On peut citer les travaux parus en février 2018 dans *The Lancet Public health* montrant que la consommation excessive d'alcool est associée à un triplement du risque de démences en général et un doublement du risque de développer la maladie d'Alzheimer, ce qui en ferait un facteur de risque modifiable majeur pour ces malades. Ce résultat a été obtenu à partir de données exhaustives des hospitalisations en France entre 2008 et 2013. De nombreux résultats permettent d'illustrer en quoi l'IA pourra être à l'origine de bénéfices importants pour la recherche, la pratique médical, le système de santé national, les personnes malades et l'ensemble des citoyens. Qu'il s'agisse d'avancées en matière de diagnostic, de choix de stratégies thérapeutique, de personnalisation de traitements, de connaissance et d'observation de maladies ou de l'évaluation de l'efficacité des actions de santé publique, ces résultats pourront conduire à d'importantes innovations sociales ou contribuer au développement économique.

Le suivi contextualisé et en temps réel du patient, un préalable pour une médecine personnalisée et prédictive

L'intelligence artificielle ouvre la voie d'une médecine où le suivi en temps réel du patient et des traces qu'il produit (suivi de son état physiologique, description de ses symptômes, interactions avec son environnement…) est essentiel pour entraîner et améliorer en continu la fiabilité des techniques d'IA utilisées à des fins médicales. De plus en plus, le recueil des symptômes ne se fait plus seulement lors de la consultation du patient avec son médecin, mais à travers un ensemble de capteurs intégrés à l'individu (objets de *quantified self*, apps de santé sur le smartphone, véritable « laboratoire d'analyses médicales distribuées ») ou à son environnement (objets de mesure de la pollution, du stress sonore) qui permettent d'agréger une grande quantité de données puis de les analyser de manière automatisée. L'exploitation de ces informations permet de retracer une image précise du patient (*Deep Patient*), de prédire l'apparition et/ou l'évolution d'une maladie, ainsi que d'adapter sa prise en charge par le réseau de soin.

La portabilité et la possibilité pour l'individu de communiquer des « données pertinentes pour la santé » doivent être repensées à l'heure de l'IA

La portabilité et la possibilité pour l'individu de communiquer des « données pertinentes pour la santé » doivent être repensées à l'heure de l'IA. L'enjeu est d'impliquer, d'encapaciter les individus dans la production de ces informations tout en veillant à limiter les risques d'intrusion dans la vie privée et l'augmentation. En effet, l'émergence d'une médecine prédictive implique *de facto* qu'on surveille et analyse en permanence notre état physiologique à la

recherche d'un pré-symptôme ou d'une prédisposition à une maladie. Il est donc indispensable de penser des dispositifs humains et techniques adaptés pour accompagner les patients dans la collecte, l'annotation, le décryptage de ces informations. Il est donc proposé de :

- lancer un nouveau chantier spécifique accompagnant le Dossier Médical Partagé (DMP) de production d'informations et de données de santé utilisables à des fins d'IA pour améliorer les soins et leur coordination, mais également participer à des projets de recherche et d'innovation d'IA en santé. Articulé avec le DMP ce dernier serait élargi comme un espace sécurisé où les individus pourraient stocker leurs données, d'en ajouter d'autres eux-mêmes, d'autoriser leur partage à d'autres acteurs (médecins, chercheurs, membres de l'entourage, etc.) et de les récupérer pour en créer d'autres usages ;
- déployer des outils, techniques d'automatisation de la codification des informations produites par les patients en données pertinentes pour le suivi médical. Ce point devrait être accompagné d'un travail de normalisation de l'information médicale ;
- sensibiliser les patients à la maîtrise de leurs données (*data literacy* appliqué en santé).

Le Dossier Médical Partagé (DMP)

Le dossier médical contient de multiples comptes-rendus médicaux apportant notamment des informations cliniques et des données biologiques, d'imagerie de différentes sources, d'anatomo-pathologie, de génétique-génomique. Ces informations, éparses, se retrouvent dans des systèmes peu communicants qui ne respectent que rarement les normes d'interopérabilité. Récemment recentré sur un objectif de coordination entre professionnels de santé (*cf.* le décret du 4 juillet 2016), le Dossier Médical Partagé est désormais géré par la CNAMTS selon 4 principes : 1. La création du DMP sera à la main des patients ; 2. Il sera alimenté par les données de remboursements de soins de l'Assurance Maladie ; 3. Ses informations seront accessibles de façon rapide et simple depuis les logiciels des professionnels de santé ; 4. Les données seront transmises par les différents professionnels de santé, *via* une solution de messagerie sécurisée existante, MSSanté. Contrairement au Blue Button – tel qu'il existe aux États-Unis ou tel qu'il pourrait exister en France – il met surtout à disposition des documents et non des données, de manière centralisée, et il n'est pas très ouvert à des applications tierces, ce qui limite les usages et les croisements possibles.

Une réorganisation des pratiques médicales autour du patient

Le développement de l'IA est appelé à transformer en profondeur les pratiques des professionnels de santé : aide au diagnostic, appui à la construction d'une thérapie, suivi évolutif du patient… S'il n'est pas question de remplacer les médecins par la machine, l'enjeu est bien d'organiser des interactions vertueuses entre l'expertise humaine et les apports de l'IA dans l'exercice quotidien de la médecine.

L'appropriation des technologies médicales basées sur l'IA dans les pratiques de médecine va entraîner une réorganisation des professions médicales. Les

récentes avancées de l'IA laissent à penser que les professions médicales les plus impactées seront les spécialités basées sur l'analyse de signaux et d'imagerie médicale (radiologie, dermatologie…). En revanche, les compétences d'orientation, de coordination, d'explication et d'accompagnement du patient se révéleront probablement plus résilientes. À long terme, ces changements pourraient amener des changements dans la répartition des rôles entre les différentes professions médicales, et à la formulation de nouveaux duos (avec des outils d'IA).

Les professionnels de santé vont jouer un rôle fondamental dans l'expérimentation et l'entraînement des IA à des fins médicales dans des conditions réelles. Les données cliniques renseignées par les médecins sont des sources d'apprentissage permanentes des IA. Il est donc nécessaire que les professionnels de santé soient sensibilisés et formés pour encoder ces informations de manière à les rendre lisibles et réutilisables par la machine. Le développement du chantier sur la production de données de santé et du Dossier Médical Partagé et de la télémédecine peuvent accélérer le déploiement de ces usages.

Les professionnels de santé vont jouer un rôle fondamental dans l'expérimentation et l'entraînement des IA à des fins médicales dans des conditions réelles

La production des informations cliniques est en mesure d'améliorer la traçabilité des décisions, notamment les plus complexes, ainsi que la détermination des responsabilités. En effet, les étapes du diagnostic et du traitement pourront être davantage tracées, argumentées et décrites. Avant d'envisager le déploiement massif des programmes d'intelligence artificielle dans un contexte médical, il sera nécessaire de clarifier le régime de responsabilité médicale en cas d'erreur.

Partant de ces éléments, il est proposé de :

- transformer les voies d'accès aux études de médecine : d'une part pour diversifier les profils et intégrer davantage d'étudiants spécialisés dans le domaine de l'informatique et de l'IA (création de double cursus, reconnaissance d'équivalence), et d'autre part pour mettre un terme à la logique de compétition tout au long du cursus universitaire qui s'avère contre-productive pour développer une coordination transdisciplinaire et structure les postures d'autorité médecins - patients ;
- former les professionnels de santé aux usages de l'intelligence artificielle, de l'IOT et du *big data* en santé, ainsi qu'aux compétences de coordination, d'empathie et du rapport avec les patients (*ex.* : expérience virtuelle pour mieux voir, comprendre la vie des patients). Cette transformation de la formation initiale pourrait avoir lieu dans la réforme en cours du premier et deuxième cycle de médecine entreprise par la Conférence des Doyens des Universités de médecine. Elle pourrait donner lieu à des modifications de la DPF ;
- clarifier la responsabilité médicale des professionnels de santé en cas d'utilisation de technologies d'intelligence artificielle : à l'heure actuelle, la responsabilité médicale d'un médecin peut être engagée en raison d'une faute ou d'un manquement déontologique (généralement conçu

comme un manquement à des obligations d'information et au droit du patient à consentir de manière éclairée à l'acte médical). En l'absence de la reconnaissance d'une personnalité juridique autonome pour l'algorithme et le robot, il serait envisageable de tenir le médecin pour responsable de l'utilisation des programmes, algorithmes et systèmes d'intelligence artificielle, sauf défaut de construction de la machine.

Fluidifier les expérimentations en temps réel avec les patients et professionnels de santé

Afin de bénéficier des avancées de l'IA en médecin, il est important de faciliter les expérimentations de technologie IA en santé en temps réel et au plus près des usagers, en créant les conditions réglementaires et organisationnelles nécessaires (« un bac à sable »). Ce bac à sable aurait pour objectif de faciliter les démarches d'expérimentation, de conception itérative et à terme de déploiement des technologies d'IA en santé avec les usagers (hôpitaux, professionnels de santé, patients, etc.). En effet, l'expérimentation « en condition réelle » est indispensable pour tester l'efficacité du système et l'améliorer en se fondant sur les retours d'expérience et les données produites en situation par les usagers. Elle permet non seulement d'améliorer la pertinence du système et son adéquation avec les besoins de terrain, mais aussi de faciliter son appropriation et à terme de sécuriser sa mise sur le marché, notamment grâce à la capacité de déploiement offerte par la plateforme. Il faudra ainsi :

L'intelligence artificielle peut être mobilisée par la puissance publique pour conduire des politiques de prévention sanitaire prédictives, plus ciblées et individualisées

- permettre les expérimentations en conditions réelles pour les technologies d'IA en santé, au sein des CHU et des lieux d'expérimentations locaux en santé voire jusqu'aux professionnels ;
- s'appuyer sur les organisations et communautés de professionnels de santé pour identifier des partenaires (institutionnels ou particuliers) désireux de participer à des programmes d'expérimentation d'IA en santé.

L'IA au service des politiques de santé

Le déploiement de l'intelligence artificielle nous invite à réfléchir sur les évolutions futures de notre système de santé. L'automatisation va entraîner une recomposition des missions et des interactions des acteurs engagés dans la conduite des politiques de santé. Il s'agit donc pour la puissance publique d'anticiper cette réorganisation du tissu sanitaire, et de trouver de nouveaux modes d'intervention plus agile en s'appuyant sur l'exploitation automatique des données.

Mieux anticiper et cibler les politiques de santé

L'intelligence artificielle peut être mobilisée par la puissance publique pour conduire des politiques de prévention sanitaire prédictives, plus ciblées et individualisées. Par exemple en matière de prévention du suicide, l'Agence de santé publique du Canada (ASPC) s'est associée à Advanced Symbolics[1],

1. https://www.innovant.fr/2018/01/11/lintelligence-artificielle-prevenir-suicides/

une startup spécialisée en IA, pour anticiper les risques suicidaires à travers l'analyse automatique des médias sociaux. En novembre 2017, Facebook a annoncé, le déploiement d'un outil similaire sur son propre réseau afin d'alerter les organisations d'aide en cas de risque suicidaire. L'IA peut également aider les pouvoirs publics à mieux gérer et anticiper les demandes de soin sur le territoire. Pour les hôpitaux, le recours à l'IA peut permettre de mieux prévoir des situations d'affluence aux urgences ou taux de réhospitalisation, et de faciliter la gestion des flux hospitaliers. En cas de crise sanitaire, l'IA peut permettre de modéliser plus finement la propagation d'une pathologie et faciliter la coordination des équipes de soin sur place.

En somme, l'intelligence artificielle peut renforcer l'efficience de notre système de santé à travers une analyse prédictive de la demande de soin, la construction d'outils de pilotage économique et médical plus fins et plus réactifs. Cependant, ce potentiel d'optimisation des processus ne peut se réaliser qu'à deux conditions : d'une part, accompagner la transformation des métiers et faciliter la coordination des acteurs de santé sur le territoire, et d'autre part mettre en place une véritable gouvernance de la donnée.

Assurer une veille de la donnée de santé

L'un des rôles de la puissance publique à l'heure de l'IA est d'orchestrer le « monitoring » de l'ensemble du système sanitaire, c'est-à-dire d'identifier les données susceptibles d'être utilisées et d'organiser les modalités concrètes de leur collecte et de leur exploitation à des fins de santé. À l'heure actuelle, le pilotage des politiques de données de santé est partagé entre plusieurs entités : l'Institut national des données de santé, l'ASIP santé, l'Administrateur général des données et la mission Etalab, etc. Cette gouvernance gagnerait à être clarifiée afin d'énoncer des lignes directrices fortes et de proposer une offre de services lisible autour des données.

Mettre en place une plateforme pour le système de santé adaptée aux usages liés à l'IA

La France a été l'un des premiers pays à se doter d'une base nationale de données médico-administratives qui centralise les données de description de parcours des soins utiles au remboursement. Elle couvre 99 % de la population française et est composée de 20 milliards de lignes de prestation articulées avec la base de données du PMSI (programme de médicalisation des systèmes d'information) et les causes médicales de décès. Ce système national des données de santé (SNDS) est unique au monde. Il est précieux pour la recherche et permet notamment des études : 1. De populations traitées en vie réelle, 2. Sur l'usage de dispositifs médicaux, 3. De pharmacovigilance ; 4. D'essais thérapeutiques « virtuels » évitant les coûts élevés d'études cliniques ; 5. La détection de « signaux faibles » dans la population générale, 6. D'identifier les populations éligibles à des essais thérapeutiques ou interventionnels. Cependant, celui-ci a été conçu historiquement à des fins administratives, et n'est pas adapté au développement de l'IA dans le secteur de la santé :

– tout d'abord, les possibilités de traitement des données médico-administratives du SNDS sont limitées par l'obligation de non-réidentification. Or les capacités d'entraînement des systèmes techniques automatisés

dépendent fortement de la qualité des données et de la capacité à suivre le patient dans son parcours de soin ;
- l'accès aux données du SNDS est conditionné à une procédure d'évaluation d'intérêt public *ex ante*, au cours de laquelle le demandeur est obligé de décrire les finalités de son projet et les méthodes pour y parvenir. Or la recherche en matière d'IA nécessite des capacités d'exploration et d'expérimentation qui ne peuvent pas toujours être décrites complètement par leurs concepteurs en amont ;
- l'architecture technique (matérielle, logicielle, et base de données) du SNDS n'a pas été conçue pour des finalités de recherche, d'innovation ou de mise en place de nouvelles applications. Par exemple, les données de production devront recevoir de nombreux retraitements pour révéler non plus des opérations de remboursement mais des suivis longitudinaux de patients.

Pour développer le potentiel de l'IA en santé, la France doit se doter de nouvelles infrastructures d'information sur un modèle de plateforme, et pour cela :

- créer une plateforme d'accès et de mutualisation des données pertinentes pour la recherche et l'innovation en santé (regroupant dans un premier temps les données médico-administratives, puis les données génomiques, cliniques, hospitalières…), ayant vocation à se substituer à terme au socle du SNDS. À l'image de ce qui est mis en place pour le SNDS, l'État serait chargé d'organiser l'accès au système selon un certain nombre de critères comme la nature de l'organisme, la finalité du projet et sa nature (recherche, commercialisation d'un service etc.). Il faut cependant indiquer qu'un changement d'échelle en terme de moyens humains et financiers est nécessaire pour organiser efficacement cet accès et permettre la valorisation d'un tel système et le mettre au service de l'innovation. L'INSERM, qui est en particulier chargé d'assurer la mise à disposition effective des données pour le monde de la recherche, doit être armé pour tenir ce rôle de guichet et faire face à une demande qui ne peut qu'exploser ;
- mettre en place des procédures d'accès fluides à cette plateforme pour développer de nouvelles approches s'appuyant sur l'IA – tout en maîtrisant finement l'accès aux informations contenues dans le système à cette fin. Un guichet unique pourrait être créé pour collecter les demandes d'expérimentation qui prendront la forme d'un dossier unique. Le délai d'instruction du dossier devrait être garanti sous trois mois et assorti d'un principe de « silence vaut acceptation ». En cas de désaccord entre les autorités de régulation et les acteurs économiques sur la décision d'accès au bac à sable, la possibilité d'un recours à un médiateur indépendant pourrait être garantie ;
- développer une offre lisible d'accès aux bases de données hospitalières (*Hospital as a Platform*) : les hôpitaux héritent, disposent ou se constituent de bases de données moléculaires et d'annotation cliniques. Il serait bénéfique d'inciter les hôpitaux à organiser des « data science bowl » ou challenges autour des jeux de données (*cf.* National Cancer Institute), des projets collaboratifs (*cf.* Projet « national patient-centered clinical research network » – PCORnet aux États-Unis). Certains services (tels que l'entraînement des IA sur les données des bases hospitalières,) pourraient éventuellement être monétisés ;

– étendre les données recueillies par la plateforme au-delà des données médico-administratives : données issues du plan France Médecine génomique, données issues des grandes cohortes nationales, données cliniques et hospitalières. Il faudra assurer l'interopérabilité des données et des systèmes (des hôpitaux jusqu'au SNDS), chantier qui pourra être articulé avec le développement d'une architecture technique du Dossier Médical Partagé compatible avec les usages de recherche et d'innovation.

Vers des cohortes nationales, numériques et dynamiques ?

Les cohortes françaises sont des moyens de production de données, de différentes natures, relatives à différentes personnes, valorisées, en termes de valeur d'usage, scientifiquement, économiquement, voire parfois cliniquement ; à condition qu'elles soient transformables en informations le permettant. Toute valorisation, en termes de valeur d'échange, des données produites semble proscrite, plus particulièrement lorsqu'il s'agit de données génétiques.

Les cohortes développent ainsi des réseaux de partage d'échantillons biologiques, de données et/ou d'informations de différentes natures entre différentes personnes et structures principales. Ces personnes sont des participants et/ou des patients pouvant produire et/ou partager des données d'intérêts en santé ou autres, des médecins permettant d'intégrer les participants dans le réseau et des chercheurs qui vont produire d'autres données à partir des échantillons, les agréger à d'autres et les transformer en informations valorisables scientifiquement, économiquement ou cliniquement.

La finalité de recherche de cette cohorte pourrait être explicitement une étude du génome humain croisée à des questionnaires multithématiques évolutifs dans le temps, et cela exclusivement en ligne. La loi stipule qu'une finalité de recherche doit être déterminé à l'avance, elle ne dit pas précisément qu'elle doit être limité dans le temps et à une ou quelques thématiques. Sous condition d'un examen approfondi, celle-ci pourrait recevable aujourd'hui, et devrait être largement utilisée. Car, par nature, ces questionnaires pourraient porter sur un nombre quasiment infini de caractères phénotypiques, allant du cancer ou du diabète à la tolérance à la caféine. L'auto-renouvèlement scientifique deviendrait possible, et avec lui une production et une valorisation scientifique de données, en particulier génétiques, significativement plus importante.

Une telle finalité de recherche nécessiterait un nouveau type de consentement :« le consentement éclairé électronique dynamique ». En effet, pour pouvoir faire évoluer les thématiques dans le temps, la meilleure solution serait de numériser son support et de dynamiser son contenu, ceci permettrait aussi de pouvoir regrouper momentanément différentes cohortes pour atteindre un nombre critique pour cette nouvelle recherche. L'intérêt pour les participants serait de pouvoir choisir, où et quand ils voudraient, *via* leurs réponses aux questionnaires, les recherches auxquels ils souhaiteraient participer et de suivre, quasiment en temps réel, les avancés et les résultats. L'intérêt pour la recherche serait de rendre plus actifs les participants, et d'augmenter ainsi significativement la production et la valorisation scientifique de données, en particulier génétiques.

Source : extrait du rapport Vogt-Stoeklé

Réguler l'innovation en santé à l'heure de l'IA

Les autorités publiques jouent un rôle majeur de régulation et de certification de l'innovation en santé. Cependant les procédures actuelles semblent inappropriées à l'heure de l'IA en santé. En effet, elles sont fondées sur le principe selon lequel un dispositif, produit ou service conçu à fins médicales puisse être testé cliniquement à un instant et commercialisé sous cette forme immuable. Or les technologies d'intelligence artificielle sont par nature des processus automatiques apprenants et donc extrêmement évolutifs. Dès lors se pose la question de leur certification dynamique pour sécuriser les usages qui en sont faits. Il est proposé :

– d'expérimenter de nouvelles procédures de qualification et certification des algorithmes ayant vocation à être utilisés dans un contexte médical, à l'instar du programme FDA Pre-cert lancé en juillet 2017 par la Food and Drug Administration aux États-Unis ;
– de transformer le cadre de réflexion et de débat sur la bioéthique afin d'intégrer les enjeux liés à l'IA en santé et de développer des modes de consultation citoyens plus réguliers et adaptés aux rythmes de l'innovation.

Le programme FDA Pre-cert (États-unis)

Ce programme pilote vise à développer et tester des méthodes de pré-certification pour des logiciels software ayant vocation à être utilisés à des fins médicales avec neuf entreprises volontaires (dont Apple, Fitbit, Samsung…). Il permet de concentrer les inspections en vue de l'approbation d'un programme, d'un algorithme ou d'un système sur les développeurs plutôt que sur le produit lui-même. L'objectif est de permettre aux entreprises d'optimiser leurs recherches et réalisations techniques et scientifiques, sans avoir à solliciter une nouvelle approbation des autorités à chaque fois que celles-ci évoluent. À travers le programme Pre-cert, la FDA souhaite ainsi identifier les paramètres clés et les indicateurs de performance pour la pré-certification.

Source : https://www.fda.gov/NewsEvents/Newsroom/PressAnnouncements/ucm577480.ht

La régulation de l'intelligence artificielle en santé est un enjeu de souveraineté nationale dans un contexte de course technologique internationale. En effet, un environnement réglementaire trop contraignant aurait pour avantage de conserver à court-terme un certain statu-quo, mais reviendrait à abandonner aux États ayant un cadre plus souple la capacité de construire une philosophie propre sur les usages de l'intelligence artificielle en santé. Il est donc important que la France soit force de proposition à l'échelle internationale, et s'investisse pleinement dans les négociations sur les futurs standards technologiques.

La régulation de l'intelligence artificielle en santé est un enjeu de souveraineté nationale dans un contexte de course technologique internationale

Focus 3 –

Faire de la France un leader de l'agriculture augmentée



À l'heure du réchauffement climatique, l'agriculture a, plus que jamais, besoin de sources nouvelles d'intelligence pour continuer à nourrir l'humanité tout en préservant l'environnement. Elle devra être productive en tenant compte des impératifs de préservation de la biodiversité.

Moteur de l'économie et de l'amélioration du niveau de vie, l'agriculture est donc appelée à faire face à des défis de plus en plus importants, alors même que nous devons garantir au plus grand nombre une alimentation saine, abordable et respectueuse de l'environnement. Les États généraux de l'alimentation ont montré la sensibilité des consommateurs et des citoyens à ces questions. Ces défis se posent à l'échelle planétaire, quels que soient les niveaux de développement économique.

Il y a urgence pour ce secteur à se saisir des opportunités de l'intelligence intelligente

L'intelligence artificielle peut constituer une ressource précieuse pour y faire face. Elle peut par exemple aider à l'amélioration du bilan énergétique et à la diminution de l'utilisation d'intrants chimiques, *via* un meilleur suivi des rendements, un meilleur suivi des troupeaux, une amélioration de l'épidémiosurveillance, à partir des données des plants, des machines agricoles, des parcelles, de la météo, de l'agriculteur…

En France, l'agriculture représente 5 % des emplois, 1,42 million de salariés et de non-salariés. Le tissu agricole en France est en outre constitué d'un grand nombre de TPE-PME. On compte plus de 490 000 fermes en France, et encore beaucoup de petites exploitations[1].

1. *Source Insee*, Tableau de l'économie française 2016.

Il y a urgence pour ce secteur à se saisir des opportunités de l'intelligence intelligente, qui ne peut se penser que de manière intégrée à l'ensemble de l'industrie agroalimentaire. L'IA, qui nécessite un volume important de données, peut permettre des innovations sur l'ensemble de la chaîne de valeur – production, transformation, distribution, information du consommateur : il est crucial de mobiliser les données agricoles publiques et privées, ainsi que l'ensemble des données de l'ensemble de la chaîne agroalimentaire, avant de considérer une ouverture encore plus grande dans un second temps. L'agriculture peut en effet avoir d'autres débouchés et être en lien avec d'autres industries. Il est important de préserver les possibilités d'une ouverture du débat au-delà du seul secteur traditionnel de l'agriculture et de l'alimentation.

À court terme : préserver nos capacités stratégiques et soutenir l'innovation agricole

Favoriser le dialogue entre les agriculteurs et l'industrie agroalimentaire pour faire émerger de nouveaux modèles de valeur

La sensibilisation des acteurs de l'agriculture aux potentiels et aux enjeux stratégiques que recèle l'IA demeure insuffisante. Une vision réductrice des potentiels des technologies numériques – cantonnés aux questions de traçabilité alimentaire et sanitaire ou d'optimisation – est parfois rencontrée chez les agriculteurs et les coopératives agricoles[2].

2. Voir à ce titre le rapport de Renaissance numérique, *La valeur des données en agriculture*, février 2018.

Si l'agroécologie suppose de faire de l'agriculteur un acteur de la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation de l'environnement, elle doit également, de fait, l'intégrer dans le pan aval de la chaîne de valeur : la

transformation et la distribution alimentaire. L'objectif consiste à faire levier sur la donnée et les nouveaux modèles d'affaires qu'elle permet, pour faire émerger des champions français et européens de l'*Agri-Tech*. Dans le domaine de la distribution, il s'agit notamment de mettre en place des stratégies intégrées d'utilisation des données sur l'ensemble des filières agroalimentaires, et de promouvoir activement l'objectif de rééquilibrage entre les prix de production et les prix de vente. Cette démarche doit ainsi permettre de mettre les agriculteurs dans la boucle des applications de certification et traçabilité des produits alimentaires, et de mieux les associer au bénéfice fourni au consommateur. À ce titre, les recommandations ayant trait à l'innovation ouverte et l'économie agricole développées dans le rapport du ministère de l'Agriculture, *Agriculture innovation 2025*, apparaissent particulièrement pertinentes. La mise en en place de *Living labs* territoriaux de l'agroécologie et de la bioéconomie semble par exemple tout indiquée pour soutenir les innovations en agriculture, en lien avec l'industrie agroalimentaire.

Cette démarche doit s'accompagner d'un soutien conséquent aux startups, notamment pour leur permettre de transformer les diverses contraintes réglementaires et prérequis sanitaires en avantage compétitif. Il pourrait en particulier être envisagé de créer des programmes d'accompagnement des relations aux administrations, et des incubateurs dédiés.

Développer les soutiens à la recherche pour le développement de la robotique et des capteurs agricoles

Au-delà des innovations en économie agricole, il s'agit de préserver notre capacité à collecter des données. Cela passe par le maintien de capacités en termes de robotique et de capteurs agricoles. Il est donc crucial de préserver d'importantes capacités de recherche dans ce domaine, en lien avec la recherche robotique plus générique. La France pourrait également encourager une initiative européenne sur le sujet, au regard de l'importante implication de cet échelon dans le secteur agricole. Il existe de nombreuses compétences en ce domaine dans d'autres pays d'Europe également, à l'instar de l'Italie et de l'Allemagne. Il s'agirait de les fédérer, afin de faire émerger des réseaux européens pour les capteurs autonomes et des alternatives au machinisme connecté des grands équipementiers. Cette démarche doit s'accompagner d'une politique concertée au niveau européen pour concevoir les dispositifs permettant d'évaluer ces systèmes robotisés, à l'instar de ce qui a été initié par le projet ERA-NET ICT-AGRI (*ICT and robotics for sustainable agriculture*), en impliquant la recherche et l'industrie.

Garantir la couverture réseau nécessaire à une agriculture connectée

Comme l'ont souligné de nombreux rapports, l'inégale couverture des territoires peut pénaliser certaines exploitations agricoles. Au-delà de l'obstacle majeur que cela peut représenter pour les agriculteurs eux-mêmes, ce manque de couverture constitue un frein au développement d'un marché domestique pour d'éventuelles solutions françaises de robotiques et d'IA agricoles. Il apparaît donc urgent de garantir une couverture du réseau homogène en haut et très haut débit, les exploitations agricoles pourraient être considérées comme prioritaires dans l'atteinte des objectifs du plan France très haut débit. Cette couverture pourrait ainsi avoir un objectif plus rapproché que 2022.

Intensifier les efforts sur la standardisation et l'interopérabilité

Un dialogue de l'ensemble de la filière doit s'appuyer sur des données exploitables et lisibles par tous. Cela implique la mise en place de standards de données ouverts afin de favoriser une interopérabilité maximale, sur l'ensemble des chaînes de valeur. L'abaissement des barrières techniques, juridiques ou commerciales est notamment crucial au regard de la structure du secteur agricole, essentiellement composé de PME-TPE. Une dynamique partenariale d'ampleur pour l'interopérabilité des données apparaît en effet indispensable pour constituer des jeux suffisamment conséquents pour permettre la conception de solutions d'IA de tous types. L'utilisation de larges bases de données est par exemple nécessaire pour la conception d'IA capables, par voie de reconnaissance image, d'apprendre à reconnaître des signes de maladies et ravageurs sur des cultures.

Les coopératives et instituts techniques, qui disposent d'importants volumes de données, gagneraient à initier cette démarche d'ouverture, en se rapprochant des startups innovantes en pointe sur les sujets clés pour l'agriculture. Elles pourraient également faciliter le déploiement d'un maximum de recherches, expérimentations et développements associant des exploitations agricoles. Il serait en particulier dommageable que le potentiel français d'innovation agricole soit tari par des stratégies défensives, visant à prévenir d'éventuelles appropriations monopolistiques de données libérées par des concurrents internationaux.

L'ambition des plateformes de mutualisation des données ne devrait, par exemple, pas se limiter à quelques domaines éprouvés, et inclure aussi des expérimentation hors du périmètre habituel des acteurs historiques du secteur. Le rapprochement des instituts techniques, syndicats et coopératives avec des jeunes entreprises innovantes et l'inclusion de jeux de données publiques pourrait par exemple nourrir des participations plus décisives aux divers consortiums internationaux qui définissent déjà des ontologies et standards. De tels efforts gagneraient le cas échéant à être accompagnés par des tiers indépendants et les instances de certifications elles-mêmes.

Outiller les démarches collectives de négociations sur les données des exploitations

Une vigilance particulière devrait être accordée au respect des droits individuels dont disposent les agriculteurs sur leurs données personnelles éventuellement collectées et traitées par des tiers. En outre, un accompagnement spécifique pourrait être prévu pour développer les démarches collectives de négociation des termes contractuels relatifs à la possibilité pour les exploitants d'utiliser eux-mêmes les données non personnelles prélevées par des tiers mais générées par leur activité.

Il y a globalement urgence à ce que la profession dans sa diversité se saisisse de ces enjeux, afin d'éviter la sédimentation du scénario qui s'esquisse aujourd'hui, dans lequel de grands équipementiers, en quasi-totalité non-français, définissent leurs propres clauses et standards et les imposent aux exploitants qui en dépendent. À ce titre, l'initiative conduite par l'*American Farm Bureau* – qui a fait adopter une charte portant sur les termes clés d'exploitation des données entre exploitants et tiers – peut fournir un exemple inspirant[3].

3. Voir leur initiative *Privacy and Security Principles for Farm Data.*

Dans le même esprit, le droit pour les exploitants de réparer et modifier leurs tracteurs et leurs composantes logicielles doit être défendu, à l'instar de l'exemption obtenue du *Copyright Office* suite à la mobilisation d'agriculteurs du Dakota. L'accompagnement juridique dont ils ont bénéficié de la part d'universitaires (de l'*USC Intellectual Property Law Clinic*) pourrait inspirer des démarches similaires en France.

À moyen terme : distribuer plus largement les capacités d'exploitation des données

L'ouverture de la donnée publique agricole et agroalimentaire doit faire l'objet d'une politique ambitieuse, pour initier et catalyser les dynamiques de partage dans le privé. La définition de solutions efficaces pour l'anonymisation des données utiles issues des nombreuses politiques de réglementation et de régulation (suivi des sols, rendements, PAC, BDNI : base d'identification des données des vaches, données des ITA : instituts techniques agricoles, données comptables et du réseau d'information comptable…) pourrait constituer un premier chantier. À l'échelle européenne, la réflexion sur la notion de donnée privée d'intérêt public pourrait aussi être développée dans le domaine agricole, pour soutenir les démarches partenariales visant à accroître la disponibilité de données utiles pour l'abord de grands défis tels que la préservation de la biomasse.

Faire passer à l'échelle les initiatives de mutualisation et les services innovants aux exploitations

Viser simplement un objectif d'ouverture généralisée des données agricoles soulève plusieurs problématiques. Subsiste en effet le risque qu'une large disponibilité des données soit utilisée pour moduler les primes d'assurance, ou alimenter une spéculation délétère sur les marchés agricoles et donner lieu à une captation par les acteurs dominants. Les ouvertures de données doivent plus généralement s'accompagner d'un travail d'anticipation quant aux possibles utilisations de ces données, pour penser les modalités d'accès et de partage.

Cependant pour que la mutualisation produise des effets tangibles, les données mises à disposition devront servir à alimenter un guichet d'accès aux données ouvert au plus grand nombre d'acteurs (sur le modèle proposé par le rapport *AgGate* de l'IRSTEA). Le développement plus large des capacités suivantes s'avère ainsi clé pour l'essor d'une innovation distribuée dans l'ensemble du secteur agricole :

i. Un point d'entrée bien identifié pour l'accès aux jeux de données agricoles, issues de diverses sources, publiques et privées ; selon des protocoles clairs et accessibles.

ii. Un magasin de services numériques mettant à disposition des outils de traitement des données accessible à la profession, incluant une vitrine d'outils d'aide à la décision, assortie d'une évaluation participative.

iii. Un service de *Cloud* Agriculteurs pour héberger les données professionnelles des agriculteurs et des coopératives, et en gérer facilement les différents régimes d'accès. Les travaux partenariaux initiés suite à

l'Appel à Projet Casdar Multipass pour faire émerger des services intégrés de gestion des consentements pourront par exemple œuvrer dans ce sens[4].

4. Groupe de travail conduit par Arvalis, l'Acta, l'Irstea, Orange et le SMAG : faire émerger de nouveaux services dans une chaîne de confiance.

Développer les capacités numériques des agriculteurs, au service de la souveraineté technologique française

Sous l'effet du développement des échanges internationaux et de PAC, l'automatisation est intervenue très tôt dans le secteur agricole, en soutien d'une optimisation de la production et de son pilotage sanitaire. Mais paradoxalement, les exploitants agricoles n'ont pas récolté les fruits de la vague d'automatisation dont ils ont été précurseurs. Les développements de l'IA, qui ouvrent aujourd'hui de nouvelles perspectives doivent donc motiver une ambition nouvelle.

Divers scénarios ont pu être formulés quant à l'éventuelle disparition des petites exploitations, compte tenu de l'élévation des compétences techniques requises et des rendements d'échelles à atteindre pour pouvoir investir dans des outils robotiques. Quoi qu'il advienne, la création de valeur – qui intègre toujours plus de caractéristiques ayant trait au maintien de la biodiversité – ne pourra qu'être augmentée par davantage de mobilisation des savoirs agricoles disponibles, aux côtés des projets de recherche et d'ingénierie technologique. Des rapprochements ont cours *via* diverses démarches expérimentales mais demeurent trop timides lorsque l'on considère l'ampleur des investissements numériques à l'étranger. *Farm Technologies* a par exemple levé 1,1 milliard de dollars en 2017 pour accroître ses capacités numériques.

Le déploiement de l'innovation agricole française pourrait en ce sens être accéléré si la formation numérique dans les professions agricoles était plus massivement développée. Une priorité doit en effet être accordée pour la maîtrise des fondamentaux de l'économie numérique et des technologies numériques dans la formation initiale et continue des agriculteurs.

Par ailleurs, la difficulté principale qu'évoquent les exploitants est celle du manque de temps disponible, celui-ci étant souvent saturé par des enjeux de maintien de l'exploitation à très court terme. Les ressources disponibles pour apprendre à faire pivoter les centres de création de valeur et développer des écosystèmes de partenariats innovants ne sont donc pas réunies.

L'État et l'Europe pourraient faciliter ces démarches en complétant le soutien aux innovations par une action pour la libération du temps de travail improductif de l'exploitant et son redéploiement sur des actions à plus forte valeur ajoutée, comme l'innovation. Des expérimentations pourraient par exemple être menées pour soutenir les remplacements d'exploitants aux fins de formation ou de participation à des projets innovants. Une simplification des procédures administratives agricoles pourrait aussi être visée, dans l'esprit du soutien à la simplification des démarches pour les TPE-PME[5]. Un raccourcissement des délais de versement effectif des aides obtenues au titre des démarches innovantes ou en faveur de l'environnement pourrait aussi limiter les effets de découragement souvent constatés.

5. Le groupe de travail numérique de l'Acta préconise par exemple un système d'identifiant unique similaire à France Connect, regroupant les identifiants MSA – mutualité sociale agricole, PAC, comptables, etc.

Focus 4 –

Une politique d'innovation de rupture dans le secteur du transport au niveau européen



Focus 4 – Une politique d'innovation de rupture dans le secteur du transport au niveau européen

Le secteur des transports est un secteur clé de l'Union européenne, qui génère en Europe une valeur ajoutée brute de 548 milliards d'euros et 11 millions d'emplois. Au niveau mondial, c'est un secteur en croissance, notamment du fait de la croissance des populations et de leur concentration dans les villes. Il comprend le transport de personnes et de marchandises, et inclut à la fois le transport routier, ferroviaire, aérien et maritime.

Ce secteur se trouve au cœur des promesses de l'IA : celle-ci doit permettre l'optimisation des flux logistiques par exemple dans le cadre de la distribution et du e-commerce, la décongestion des ports ou encore le renforcement de la sécurité des services de fret et du transport de personnes. Mais c'est autour de trois marchés clés que se concentrent à la fois les développements technologiques et les attentes des écosystèmes : le développement du véhicule autonome, les modes de transports durables, en particulier électriques, ainsi que l'émergence et l'interconnexion de nouvelles solutions de mobilité pour réduire la densité du trafic de certains segments.

Le développement des véhicules autonomes constitue une des applications des systèmes d'apprentissages, de biomimétiques ou encore d'interactions basées sur les systèmes multi agents qui suscite d'ores et déjà des investissements importants de la part des acteurs en place. Elle est souvent considérée comme une des applications commerciales majeures de l'IA à grande échelle. Une étude réalisée en 2017 par le Brookings Institute a ainsi estimé que plus de 80 milliards de dollars avaient déjà été investis dans le véhicule autonome[1]. Ces chiffres révèlent la course technologique menée dans ce cadre, d'abord entre grands constructeurs mobiles, mais aussi entre les acteurs traditionnels du secteur et de nouveaux acteurs issus du secteur des technologies de pointe (Alphabet, Alibaba, Baidu).

1. Gauging investment in self-driving cars, Octobre 2017.

La réduction des coûts financiers et écologiques est une problématique centrale de l'automatisation dans le secteur. Les transports, qui dépendent encore massivement des énergies fossiles, représentent en effet 43,7 % de la consommation toutes énergies confondues et restent le premier émetteur de CO_2 dues à la combustion d'énergie[2]. Le déploiement de systèmes intelligents doit donc faciliter le développement d'une mobilité neutre en carbone et la réduction du nombre de déplacements. Le développement de l'usage des véhicules électriques est lui aussi, au même titre que les voitures autonomes, un enjeu majeur pour le futur de l'industrie des constructeurs automobiles, des fournisseurs d'énergie ainsi que des collectivités territoriales pour l'aménagement du territoire. L'emploi de l'IA est au cœur de l'optimisation des ressources et des cycles de recharge des batteries au vu des usages, du déploiement des bornes de recharge, et du pilotage de l'exploitation du réseau électrique avec les fournisseurs. C'est également un domaine où l'intervention coordonnée des pouvoirs publics peut avoir un effet bénéfique majeur, au vu des besoins de soutien au développement initial des flottes de véhicules et des réseaux de recharge et du morcellement des premières initiatives.

2. Ministère de la transition écologique et solidaire, Bilan énergétique de la France en 2016 – Données définitives.

Le développement des nouveaux moyens de transport du quotidien et leur interconnexion (voitures, scooters et vélos en libre-service, covoiturage, logistique urbaine, etc.) est essentiel pour réduire la densité du trafic de certains segments. La concentration des populations en milieu urbain impacte

fortement le besoin de transports et la qualité de vie des citoyens. De nombreuses études ont démontré les coûts importants (à la fois en termes de consommation de carburant, de pollution et de perte de temps) associés aux trajets quotidiens[3]. L'émergence de solutions comme le covoiturage, l'autopartage en entreprise ou de plateformes intégrées de mobilité doivent permettre de réduire la congestion dans les territoires et le développement de nouveaux services de transports connectés. L'IA doit ainsi augmenter la capacité des collectivités à adapter l'offre de transports à la demande, là où les services de masse sont mal adaptés.

3. CERB Centre for Economics and Business Research - The future economic and environmental costs of gridlock in 2030. An assessment of the direct and indirect economic and environmental costs of idling in road traffic congestion to households in the UK, France, Germany and the USA. Report for INRIX, July 2014.

Il apparaît essentiel de relever ces défis à une échelle européenne. L'Europe dispose en effet d'une infrastructure importante et de qualité, dont certains réseaux sont déjà particulièrement interconnectés. On peut également mentionner ici les efforts déjà réalisés au niveau européen sur la connectivité nécessaire au déploiement des véhicules autonomes (l'Institut européen des normes de télécommunications soutient le développement d'une approche hybride combinant ETSI ITS-G5), ou les systèmes européens de navigation par satellite, EGNOS et GALILEO. Le développement de l'IA y trouve donc un terrain favorable, qui nécessitera néanmoins une coopération renforcée pour définir des standards communs et des partenariats entre les nombreux acteurs en présence – en particulier autour de l'accès aux données collectées par ces derniers. Une approche européenne devra également assurer la scalabilité des nouveaux modèles économiques développés dans ce cadre et la rentabilité d'une bataille technologique à forte intensité de capital.

Une coopération franco-allemande sur l'innovation de rupture

La coopération européenne dans le domaine pourrait s'articuler autour de deux structures complémentaires, poursuivant deux objectifs distincts, mais interdépendants :

- le financement de la recherche pourrait être assuré par une agence pour l'innovation de rupture, qui organise et finance des projets de recherche sous la forme de défis ;
- le développement de nouveaux produits et services pourrait être coordonné par des plateformes de mutualisation comprenant les nombreux acteurs du secteur.

Le soutien à la recherche dans l'intelligence artificielle, notamment dans le secteur du transport et de la mobilité doit évidemment être une des priorités d'une telle agence pour l'innovation de rupture. Néanmoins, le développement d'applications commerciales devra nécessairement s'articuler autour de la rencontre de techniques de pointe issues de la recherche, la connaissance des usages métiers et surtout le partage de vastes ensembles de données entre acteurs. Cet effort de coopération devra être impulsé et soutenu publiquement, mais porté pour l'essentiel par les acteurs du secteur.

Des plateformes de mutualisation européennes autour des mobilités

L'objectif des plateformes de coordination sera de travailler avec les métiers et les acteurs qui opèrent au quotidien dans les secteurs, collectent les données

pertinentes et maîtrisent les enjeux opérationnels. Elles pourront être alimentées par les bases déjà publiées sur la plateforme « transport.data.gouv.fr » et les « points d'accès nationaux » prévus par le récent règlement européen sur les « services d'informations sur les déplacements multimodaux » et assurer la cohérence globale entre les données ainsi agrégées. Elles permettront ainsi d'organiser des expérimentations, basées sur des cas d'usage concrets, qui nécessitent un partage de données large entre acteurs. Elles faciliteront également les travaux de recherche des instituts et laboratoires de recherche sur les différents domaines.

Dans le cas du véhicule autonome, elle pourrait regrouper les équipementiers et les constructeurs automobiles, les gestionnaires des infrastructures routières, les opérateurs de réseaux Internet et mobiles, les entreprises innovantes du domaine de l'IA et des acteurs publics. En fonction des intérêts suscités par le projet, elle pourrait par exemple regrouper des acteurs issus de l'Italie, de la France et de l'Allemagne, du fait de leur importance historique dans le domaine de l'automobile et de la robotique.

Au-delà d'un accès privilégié à des données partagées au sein de cette plateforme, ces acteurs pourraient mutualiser des investissements dans des projets de développement et avec le soutien des acteurs publics, tester certains projets dans le cadre de « bacs à sable », à l'instar du partenariat franco-allemand autour de l'ouverture du premier site expérimental transfrontalier de tests de voitures autonomes de Metz à Merzig. Les tests réalisés dans le cadre de cette coopération devront permettre d'établir au niveau mondial des standards autour de technologies-clés relatives à l'interopérabilité des systèmes et de la connectivité des véhicules et d'adapter au contexte du véhicule autonome les normes automobiles par exemple, ou encore de définir des normes de sécurité élevées empêchant le piratage et les attaques informatiques. La plateforme permettra de porter de manière proactive ces débats à un niveau international, dans l'esprit des initiatives existantes telles que la plateforme C-Roads.

Il apparaît essentiel de relever ces défis à une échelle européenne

Dans le cas du développement d'une mobilité écologique, une telle plateforme devrait réunir de nombreux acteurs, à la fois privés et publics, nationaux et territoriaux, et regrouper à la fois les données du parc motorisé, les données d'énergie, de voirie et d'applications de services aux usagers. Elle doit permettre de remplir les objectifs du plan climat de juillet 2017, qui vise une neutralité carbone des transports à l'horizon 2050 (zéro émission nette) comme conséquence de l'Accord de Paris de la COP 21. En France, une telle coopération devra tirer profit du processus amorcé par les assises de la mobilité. La convergence de ces bases de données et de leur partage entre acteurs est une condition au développement de plateformes d'interconnexions multimodes, dont l'IA augmentera la valeur ajoutée. Dans le domaine des services de mobilités, les standards émergents de fait comme le General File Transport Systems (proposé initialement par Google), pourraient être affinés, et complétés par des standards de représentation et échanges de données sur les déplacements des personnes, dans des cadres de finalités opérationnelles bien définies et sous condition de consentement éclairé des personnes.

Focus 4 – Une politique d'innovation de rupture dans le secteur du transport au niveau européen

Des échéances ambitieuses pour l'autorisation des véhicules autonomes en Europe

La mission propose d'envisager une adaptation du Code de la route par anticipation des modifications à venir du cadre international pour, dès aujourd'hui, autoriser :

- à compter de 2022, des fonctions d'autonomie de niveau 3 (le conducteur ne surveille pas le système, mais il est prêt à prendre le contrôle, si besoin) ;
- à compter de 2028, des fonctions d'autonomie de niveau 4 (pas besoin de conducteurs pour certains cas d'usage).

L'intérêt d'une telle démarche est double :

- envoyer un signal positif et motivant à la recherche et l'industrie française ;
- initier une séquence dans le débat public national, européen et international, d'une part en accélérant la prise de conscience du public sur les enjeux de l'intelligence artificielle et en présentant la France comme un pays tourné vers l'avenir et favorable à l'expérimentation et l'investissement.

L'exemple de la région Île-de-France

À ce titre, la démarche de l'Île-de-France peut apparaître comme un bon exemple de politique ambitieuse, plurielle et coordonnée. Cette démarche envisage en effet la mobilité au sens le plus large puisqu'elle s'appuie sur un « plan anti-bouchons et pour changer la route », votée en mars 2017, qui prévoit un fonds innovation de 57 millions d'euros pour développer les nouveaux usages de la route et accompagner les innovations sur les véhicules. Ces investissements s'accompagnent d'une véritable démarche d'expérimentation. La région participe au financement du centre d'essai pour les véhicules autonomes et connectés déployé par la société UTAC-CERAM. Avec ce projet, partie prenante du Plan Nouvelle France Industrielle Véhicule Autonome, UTAC CERAM porte un important projet d'investissement de pistes et équipements pour tester les véhicules autonomes au sein de l'autodrome de Linas-Montlhéry. L'objectif est de répondre aux besoins des constructeurs et PME de toute la chaîne de valeur de la filière, en compétences et soutien technique, pour la mise au point de véhicules autonomes. Il permettra à la région de disposer d'un équipement de référence en Europe pour améliorer la sécurité, la compétitivité économique des entreprises du secteur, et de permettre l'accès à la mobilité pour tous. La région a par ailleurs signé un partenariat avec l'Institut VEDECOM et l'Institut pour la transition énergétique (ITE), dédié au véhicule autonome et connecté, pour suivre l'évolution de la recherche, anticiper les opportunités et proposer de nouvelles solutions aux besoins de mobilité, notamment des territoires en zones peu denses.

Une politique de la donnée offensive

Il convient de rappeler en premier lieu que le cadre général établi par le RGPD ne s'oppose pas au développement de ce secteur et qu'il n'a aucune

raison d'être sur transposé autour de la problématique du transport et des mobilités qui est génératrice de données à caractère personnel.

Au-delà des enjeux du véhicule autonome, une politique de l'ouverture de la donnée de transport et de mobilité doit être encouragée. Les États-Unis ont par exemple lancé des politiques d'ouverture des données ambitieuses pour soutenir le développement d'acteurs dans les domaines de la planification ou de l'exploitation des transports (*Urban Engines*, *Sidewalk Labs*…). La Chine a également affiché sa volonté de soutenir l'accès aux données par les services publics et ses champions nationaux.

À ce titre, il sera crucial d'accélérer la mise en place du règlement du 31 mai 2017 complétant la directive 2010/40/UE du Parlement européen et du Conseil sur la mise à disposition, dans l'ensemble de l'Union, de services d'informations sur les déplacements multimodaux. La loi mobilité de février 2018 pourrait servir de véhicule pour mettre en œuvre le point d'accès national prévu par ce règlement en accélérant les termes des obligations qui sont échelonnées de 2019 à 2023. Cette loi pourrait par ailleurs aller plus loin que les seules données d'information, et se pencher sur une ouverture plus large des données. Elle pourrait prévoir une régulation de la diffusion et de l'usage des données de transport notamment en matière de formats, d'interopérabilité et d'utilisation préférentielle de logiciels libres et création de communs numériques. Par ailleurs, dans le cadre de la loi pour une République numérique, il s'agirait également d'adopter le décret d'application relatif à la liste des informations à transmettre et les modalités de ces transmissions par les gestionnaires du domaine public routier la création d'une base de données nationale des vitesses maximales autorisées sur le domaine public routier.

Cette politique d'ouverture doit bien évidemment s'accompagner d'une réflexion sur la protection des données des automobilistes et des voyageurs. Ainsi, sur le modèle des règles énoncées par la commission éthique allemande sur la conduite autonome[4], une réflexion pourrait être entreprise le plus rapidement possible sur la protection des données personnelles des automobilistes et des voyageurs à l'heure de l'IA. Les enjeux en termes de personnalisation des prix, au niveau du voyageur, de cybersécurité (attaque de type zero day), ou de sécurité tout court, sont majeurs. Il est capital de mettre en œuvre des garanties pour les individus, les territoires et l'État à un niveau européen.

4. Ethics Commission on Automated Driving Report - Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure.

Il s'agit également d'inciter les acteurs économiques du véhicule autonome au partage et à la mutualisation de données. L'objectif est d'abord stratégique pour les acteurs français et européens, car c'est un moyen pour les entreprises d'un même secteur de rivaliser avec les géants mondiaux de la discipline. Le partage de données doit également être encouragé dans un souci, pour certains cas, de sécurité des solutions d'intelligence artificielle. S'agissant de la voiture autonome, chaque constructeur développe aujourd'hui de son côté ses propres modèles d'apprentissage. Pour assurer la fiabilité de leurs prototypes et atteindre un niveau de risque acceptable, ces derniers sont tenus d'envisager un maximum de possibilités : il faut par exemple collecter des données de roulage toute l'année pour se confronter aux variations des

conditions climatiques. Par ailleurs, les référentiels de scénarios ne sont valables que pour une région donnée. L'ensemble de ces variables rend impossible l'anticipation de tous les scénarios par un seul constructeur, fut-il le plus avancé. Ainsi si les géants américains ont pu prendre une avance relative en la matière, ils sont encore loin d'un niveau de fiabilité acceptable. Partager ses données, ses référentiels de scénarios de conduite autonome (au moins pour partie) revient donc à s'assurer qu'en cas de litige, le plan de validation du véhicule concerné était à l'état de l'art et non propre à un constructeur. Le ministre chargé des transports pourrait à ce titre assurer une mission de médiation pour les entreprises qui souhaitent être accompagnées dans la contractualisation de leurs échanges en données.

Enfin, en lien avec les recommandations générales du rapport, il est nécessaire de cartographier l'ensemble des jeux de données détenus par des entités privées et nécessaires au développement de l'IA. Un exemple régulièrement avancé concerne les vidéos de caméras de surveillance en bord d'autoroute, dont certains tronçons dépendent directement des pouvoirs publics. Une réflexion devra être menée concernant ces données particulièrement intéressantes du point de vue de l'entraînement des modèles de conduite autonome.

Focus 5 –

L'IA au service de la défense et de la sécurité

Le domaine de la défense et de la sécurité s'intéresse depuis longtemps aux techniques d'intelligence artificielle sous leurs nombreuses formes : interfaces humain-machine, traitement de l'information, robotique, etc. Pourtant, ce n'est que récemment avec l'essor et la maturité croissante des technologies civiles que de nouvelles perspectives d'application s'ouvrent, aussi bien pour les besoins des phases opérationnelles dans le cadre de l'exercice des missions régaliennes que pour la transformation des activités internes au sein de l'État (par exemple pour les outils mis à dispositions des personnels des ministères). Dans les prochaines années, l'utilisation de l'intelligence artificielle sera une nécessité pour assurer les missions de sécurité, conserver l'ascendant face à nos adversaires potentiels, tenir notre rang par rapport aux alliés (aussi bien au sein de coalitions que dans une perspective d'export) et maintenir un niveau de qualité élevé concernant les services dispensés à l'ensemble des personnels des ministères.

La défense et la sécurité sont traitées ici de concert malgré les différences entre la nature des missions qui concernent notamment le ministère de l'Intérieur et le ministère des Armées. Une des différences réside notamment dans le lieu qui représente le théâtre du conflit : extérieur (opérations militaires), intérieur (sécurité intérieure) voire même virtuel (cyberdéfense). Du point de vue technologique, il semble cependant que les techniques d'IA développées pour l'une de ces applications ne la rendent pas moins transférable aux autres, et on peut noter de nombreux point de convergence notamment pour ce qui concerne le traitement de l'information. L'analyse d'images, de vidéos, d'enregistrements à titre d'exemple ne sont pas des techniques dont l'un des deux théâtres puisse revendiquer l'exclusivité. Les perspectives présentées ici se situent donc sur le point de convergence, mais nécessitent bien sûr une déclinaison opérationnelle plus précise qui prenne en compte leurs singularités.

On constate en l'occurrence que les caractéristiques et les besoins liés aux missions régaliennes sont souvent méconnus des acteurs du numérique (entrepreneurs ou chercheurs), qui en ignorent les enjeux, les problématiques et les opportunités. Si les ministères concernés jouent un rôle de premier ordre au regard de leurs données et de leurs usages opérationnels, les ressources humaines et financières dont ils disposent sont limitées. Ainsi, la collaboration entre le public et le privé est impérative et nécessite de voir émerger des écosystèmes de qualité. Le domaine est pourtant très mature et extrêmement riche en cas d'usage et données à haute valeur ajoutée pour des usages d'IA : imagerie (notamment satellitaire, drones, hyperspectrale), vidéos, signaux électromagnétiques (radars), systèmes de combat, renseignement, cybersécurité, robotique (aéronautique, marine, terrestre), données de maintenance, etc. Toutefois, pour des raisons légitimes de sécurité, de confidentialité et de faisabilité technique, il n'est pas toujours concevable de faire sortir complètement ces données du contrôle de l'État bien que le développement des technologies d'IA repose souvent sur l'alignement d'un triptyque connu : données, algorithmes et connaissances métiers.

Accompagner l'écosystème dans la prise en main des problématiques du domaine, en particulier au travers de marchés publics relève d'un véritable enjeu de souveraineté

Focus 5 – L'IA au service de la défense et de la sécurité

Accompagner l'écosystème dans la prise en main des problématiques du domaine, en particulier au travers de marchés publics relève d'un véritable enjeu de souveraineté afin que, demain, nous ne soyons pas contraints de confier, comme cela a pu l'être par le passé, la réalisation de systèmes d'IA pour des besoins régaliens à des acteurs extra européens (exemple de Palantir). Le seul marché de la défense et de la sécurité n'étant pas toujours suffisamment large pour permettre aux entreprises du domaine de passer à l'échelle, il faudra garder à l'esprit que les technologies développées dans ce domaine ont vocation à être transférées à, ou depuis, des domaines civils connexes en tenant compte des intérêts essentiels de l'État. Les objectifs sont donc d'une part, de permettre à l'écosystème de recherche et d'innovation réunissant industriels de la Défense, communautés de recherche et entrepreneurs de travailler sur le domaine ; et d'autre part s'assurer que les innovations produites sont rapidement intégrées aux systèmes opérationnels.

Le développement de l'IA dans les domaines de la défense et de la sécurité intérieure ne peut néanmoins se faire de la même manière que dans d'autres secteurs. Dans un contexte marqué par ce qui est parfois dénoncé comme une forme d'inflation de lois sécuritaires, les risques liés notamment à la surveillance de masse et à la diminution des libertés publiques ne peuvent être négligés. Davantage que pour d'autres secteurs, les développements de ces technologies doivent s'insérer dans les débats politiques et, le cas échéant, les conséquences en termes de libertés publiques et d'éthique doivent être scrupuleusement étudiées.

La nécessité d'une IA régalienne et ses spécificités

L'IA crée avant tout une opportunité pour améliorer le quotidien de l'ensemble des métiers et des citoyens. Contrairement à certaines idées reçues, les premières applications identifiées relèvent de sujets du quotidien. Parmi les pistes, on peut évoquer : le filtrage des appels d'urgence arrivant aux 17-18-112 pour désaturer, mieux prioriser et cibler ; la gestion de crise par la gestion des interventions et de l'information ; la réduction de l'accidentologie et du nombre de morts sur les routes. La réalisation de ces applications relève de l'intérêt général et en améliorant la qualité du service public et de son exercice.

Le développement et la mise en œuvre de techniques d'IA au sein des systèmes opérationnels sont de plus en plus cruciaux et concernent un spectre d'application large. Pour le traitement de l'information, le volume de données produites croît exponentiellement, la précision et la granularité des données produites par les capteurs augmentent et cette tendance ne va que s'accentuer avec le temps. Avec les ressources humaines disponibles, quand aujourd'hui on parvient à traiter une quantité de données qui avoisine au mieux les 20 %, à terme ce sera probablement moins de 2 %. Pour endiguer ce phénomène, il est donc nécessaire que les investissements réalisés dans le domaine des capteurs aillent de pair avec ceux dans l'IA permettant d'en exploiter la production. Cependant, bien loin de systèmes visant à automatiser les prises de décision, il s'agit avant tout de permettre à des opérateurs d'appréhender, de naviguer dans et d'exploiter la masse de données qu'ils ont à disposition. L'IA offre ici de nouvelles perspectives, car elle permet non seulement de mieux exploiter les données produites en

continu par les systèmes, mais également de mieux exploiter le patrimoine amassé efficacement. À titre d'exemple dans la recherche de contenu dans un ensemble de vidéos, quand il aurait précédemment fallu faire visualiser ces vidéos minute par minute par un ensemble d'opérateurs humains, il est aujourd'hui envisageable d'utiliser des techniques d'IA pour faire ce travail de façon automatique et beaucoup plus rapide.

La cyberdéfense et la cybersécurité évoluent dans ce même contexte de tsunami informationnel et de complexification constante des menaces. Si les moyens d'analyse automatiques permettent jusqu'à présent de détecter des attaques déjà connues, la mise en œuvre de techniques d'IA permet aujourd'hui d'imaginer des capacités de détecter, parer voire répondre à des attaques qui étaient jusqu'à présent inconnues. Alors que les modes opératoires des attaquants sont de plus en plus difficilement détectables par la seule capacité d'analyse des opérateurs humains du fait des temps longs et de la subtilité des signaux d'attaque produits, l'IA semble représenter une voie vers une meilleure protection de nos intérêts.

L'IA est également un moyen de protection pour nos forces et pour ceux qui assurent leurs missions au quotidien. Cette protection permet de faire face à des violences de différents types. Psychologique par exemple lorsqu'il s'agit d'effectuer de l'analyse de contenus qui peuvent être visuellement violents (vidéos de torture, images pédopornographiques dans le cadre d'enquêtes). Physique également lorsque des opérations mettent en jeu la sécurité des personnes : on peut citer à titre d'illustration la reconnaissance et la cartographie 3D de bâtiments en zone ennemie, ou encore le déminage (terrestre et maritime notamment) qui pourrait être effectué par des robots. Ces deux exemples montrent que dans certaines applications, il est possible d'utiliser des techniques d'IA pour préserver des êtres humains et limiter le niveau de risque auquel ils sont exposés. Dans le contexte du combat, l'IA permet d'outiller l'échelon de commandement pour faciliter l'accès à l'information et assister ainsi sa prise de décision, puis déssert localement les forces dans le contexte du combat collaboratif impliquant la connexion des différentes unités et moyens sur le champ de bataille. En amont, l'IA ouvre également des perspectives concernant la simulation opérationnelle qui permettrait à la fois l'entraînement des forces et la préparation des opérations. C'est enfin un facteur déterminant dans la performance et l'augmentation des systèmes de combat, notamment pour des fonctions support telles que la logistique et de la maintenance.

Quel que soit l'usage, les missions régaliennes nécessitent de prendre en compte certains aspects spécifiques pouvant être contraignants techniquement, notamment dans la conception des systèmes impliquant de l'IA :

- la sécurité et la protection des systèmes nécessitent d'être particulièrement renforcée et adaptée au contexte d'utilisation. En effet, les conséquences d'attaques en cas de vulnérabilité peuvent être importantes ;
- la gestion des informations (classifiées à de multiples niveaux, éventuellement judiciaire), la protection du secret et du droit d'en connaître en particulier lorsqu'elles impliquent de grands volumes de données ;

– l'interopérabilité avec d'autres systèmes, en particulier dans le cas de coalitions ou d'échanges internationaux ;
– la répartition géographique des opérations et la multiplicité des modes de déploiements, de l'échelon central en métropole jusqu'aux théâtres d'opérations extérieures, y compris embarqués comme par exemple dans des bateaux ou des systèmes aéronautiques.
– le besoin de fiabilité (entre humains, entre humains et machines...) et de contrôle accru dans un contexte où l'IA peut trouver sa place dans des applications critique (pilotage par exemple).
– enfin, sur ces technologies qui évoluent à grande vitesse, il est impératif pour les techniciens et experts de se tenir au courant par la participation régulière à des forums, conférences, colloques internationaux, bien sûr dans le respect de la confidentialité qui s'impose aux actions les plus sensibles.

Il est évident que les expérimentations et les dérogations aux règles existantes, suivant la logique de bac à sable, doivent être effectuées dans le cadre strictement défini par le droit et sous le contrôle spécifique des commissions habilitées (notamment la commission nationale de contrôle des techniques de renseignement par exemple s'agissant du renseignement).

Dans un contexte où le besoin de souveraineté est critique, il faut souligner l'existence de réglementations telles qu'ITAR (International Traffic in Arms Regulations). Il s'agit d'une réglementation extra-territoriale américaine qui permet de contrôler les importations et exportations liées à la Défense. Elle s'exerce de façon rétroactive et concerne toute produit dont un élément de la chaîne de production a un lien avec les États-Unis. C'est pour cette raison que ces chaînes dans le milieu sont extrêmement contrôlées, dans la crainte que celles-ci puissent être soumises à une *itarisation*.

La mise en place d'un environnement propice à l'expérimentation et au développement de l'IA

Afin de développer tout ou partie de ces usages, il faudra s'appuyer sur les logiques présentées pour le développement des secteurs prioritaires autour de la plateformisation, de la constitution de bacs à sable et d'une mise en place d'une politique de la donnée adaptée. Au vu du caractère exceptionnel de ses missions et de l'impératif de résilience, l'État, au travers notamment du ministère des Armées et du Ministère de l'Intérieur, doit conserver son autonomie sur les objectifs et les conditions de mise en œuvre de l'IA.

Pour des raisons historiques, les systèmes opérationnels actuels ne sont en majorité pas conçus pour mettre en œuvre cette démarche de recherche et d'innovation ouverte sur l'écosystème. Néanmoins, ce changement de paradigme est en cours au sein d'un domaine qui, à ce titre, est en avance par rapport à d'autres acteurs publics. Cependant, le déploiement d'une logique de plateforme qui consiste à expérimenter des capacités dans une phase de recherche et d'innovation, puis à les déployer sans rupture comme capacités opérationnelles demeure une entreprise délicate[1].

1. Certains projets vont déjà en ce sens à l'image d'ARTEMIS pour le Ministère des Armées.

La mise en place de logique de plateformes et de bac à sable nécessite notamment de développer un socle technologique adapté au domaine et qui tient compte des spécificités précitées. Son utilisation permettra de faire

support à la recherche, à l'innovation et au déploiement dans les systèmes opérationnels de briques d'IA, à condition que ce développement soit assorti des infrastructures nécessaires à sa mise en œuvre ainsi qu'à une démarche globale d'expérimentation qui implique l'alimentation en jeux de données, cas d'usage et campagnes d'évaluation. Ce mode d'expérimentation souple nécessite de constituer un bac à sable afin de fluidifier la possibilité de développer et de tester des produits opérationnels. L'objectif est notamment de permettre aux acteurs économiques d'aborder le domaine en bénéficiant de l'accompagnement nécessaire et du support de développement et d'expérimentation, au plus près des usagers. Ce bac à sable permettra de faciliter l'accès et l'utilisation de la plateforme mise en place pour développer de nouveaux usages s'appuyant sur des techniques d'IA, dans un cadre maîtrisé malgré la sensibilité du domaine. À cette fin, il faudra veiller à :

- permettre l'accès à des données opérationnelles dans un cadre maîtrisé par l'administration pour les acteurs économiques ;
- produire des jeux de données d'intérêt exportables sur différents cas d'usage afin que la communauté puisse s'en saisir ;
- créer un guichet unique d'instruction des dossiers pour la participation au bac à sable avec contrainte de délai de réponse.

L'importance de la dimension opérationnelle a été soulignée pour faciliter l'expérimentation et les développements au plus près des utilisateurs finaux. En effet, celle-ci est cruciale pour faciliter les démarches d'expérimentation, de conception itérative et de déploiement de produits. Ces démarches d'expérimentation sont indispensables pour tester des systèmes en conditions réelles, en particulier lorsqu'ils reposent sur des technologies qui intègrent de l'IA, et produire des systèmes pertinents pour les métiers du domaine de la défense et de la sécurité, développés à partir de cas d'usages réels. Pour y parvenir, il faudra permettre des expérimentations opérationnelles sur le terrain ou dans les centres d'essais[2] pour donner vie à un living lab dans l'État[3].

Cependant, les avancées de l'IA dans le domaine de la défense et de la sécurité dépendent notamment, comme pour les autres, de nos capacités à croiser des quantités massives de données afin de mettre en évidence des corrélations ou des motifs exploitables par des techniques d'IA. De ce fait, la quantité des données disponibles et la qualité de leur annotation sont des éléments clés pour faire avancer la recherche sur les applications de l'IA. Dès lors, il est essentiel de se doter des moyens de captation, de structuration et d'annotation des données produites. Pour cela, il faudra inscrire comme priorité à la fois financière et opérationnelle :

- l'organisation de la captation des données pertinentes ainsi que leur annotation/structuration à des fins d'IA puis en faire une priorité opérationnelle et financière ;
- le renforcement du chantier mené sur la gouvernance de la donnée et la structuration de la connaissance à l'échelle du ministère ;
- l'organisation d'une réflexion sur la classification de la donnée, les contraintes techniques et réglementaires dans un contexte d'IA pour créer un cadre réglementaire et organisationnel en adéquation avec les nouveaux usages liés à l'IA qui est parfois estimé en décalage dans la pratique.

2. Par exemple ceux de la Direction Générale de l'Armement pour le ministère des Armées.

3. Pour la Défense, le projet de « Défense lab » du Ministère des Armées devrait répondre à ces objectifs.

Si la captation et le croisement des données sont évidemment nécessaires pour développer opérationnellement les applications d'intelligence artificielle, dans ces domaines particulièrement sensibles, ils pourraient avoir un certain nombre de conséquences négatives pour les libertés fondamentales. Une réflexion doit donc être menée, en amont de la collecte et du croisement, sur les risques éventuels qu'ils soulèvent. Ainsi dans le développement des systèmes de technologies d'IA, les bénéfices liés au développement de compétences opérationnelles doivent toujours être balancés avec les risques actuels ou potentiels qu'il font peser sur les libertés individuelles.

Une gouvernance et un cadre à consolider

Les ministères régaliens sont déjà sensibilisés aux enjeux de l'IA et du numérique en général et se sont déjà structurés ou restructurés en conséquence. En matière de gouvernance, l'enjeu est de parvenir à créer une synergie favorable à l'innovation (de la phase recherche au déploiement dans les systèmes opérationnels) à travers la mise en œuvre de dispositifs de collaboration entre les utilisateurs et les directions techniques concernées. Le Ministère des Armées par exemple, du fait du découpage institutionnel a déjà mis en œuvre un dispositif à cette fin au travers du Défense Lab qui réunit Direction Générale de l'Armement, Direction Générale du Numérique et des Systèmes d'information et de communication et État-major des Armées. Pour le Ministère de l'Intérieur, la direction des systèmes d'information et de communication porte le projet technique en lien direct avec les métiers.

La question des ressources humaines mérite une attention spécifique, bien que le secteur soit déjà acculturé en grande partie à la problématique. En particulier, l'IA va induire de nombreux changements pour les métiers, et demande ainsi un travail de terrain au contact des utilisateurs, à la fois pour permettre de faire émerger les applications les plus pertinentes du point du vue opérationnel mais également pour amorcer les cycles de transformations à venir en y impliquant d'emblée les utilisateurs finaux. Ce travail ne pourra se faire que dans un contexte de sensibilisation à tous les niveaux aux enjeux de l'IA, qui implique donc globalement une montée en compétence de l'ensemble des ministères, des Administrations et des États-majors. La montée en compétence passe en particulier par la dotation en équipes spécialistes en matière d'IA capables d'appréhender simultanément les enjeux des métiers opérationnels et les nouvelles technologies. Il faut également souligner l'importance de disposer de budgets dédiés à l'IA et au numérique afin d'être en mesure d'expérimenter et de lancer des projets pilote.

De même que l'IA apporte une rupture technologique avec l'existant, elle impose de reconsidérer un héritage historique réglementaire et organisationnel qui pourrait freiner son développement artificiellement. Au-delà des recommandations générales concernant par exemple la mise en place de budgets dédiés et pluriannuels transverses à l'ensemble des Administrations, deux points sont particulièrement saillants. Le premier concerne la classification et la déclassification des données et ainsi la possibilité de leur partage avec l'écosystème : la protection de l'information classifiée dans le numérique mérite une réflexion approfondie afin d'en simplifier l'appréhension à l'aune des nouvelles technologies. En particulier, des mécanismes de déclassification

automatiques pourraient être étudiés afin de faciliter les développements de techniques d'IA nécessitant des données : date de péremption de la classification, déclassification massive, transformation systématiques et préidentifiées de la donnée en réduisant le niveau de sensibilité (par exemple lorsque la classification est issue des caractéristiques techniques des capteurs), etc. Le second porte sur la réglementation concernant la sécurité des systèmes d'information en vigueur. Si l'esprit n'est pas remis en cause, il faudra examiner certaines pratiques et déclinaisons qui pourraient être revues pour repenser des contraintes de sécurité adaptées au contexte IA et *big data*.

Personnes auditionnées

Nathanaël Ackerman Hub France IA • **Patrice Aknin** IRT SystemX • **Patrick Albert** Hub France IA • **Ghizlaine Amrani** Qwantcube • **Jean-Patrice Anciaux** BPI France • **Benjamin André** CozyCloud • **Xavier Apolinarski** SATT Paris Saclay / ou SATT Aquitaine • **Georges Asseraf** Commission nationale des certifications professionnelle • **Jamal Atif** CNRS • **Pascal Auscher** CNRS • **Chloe-Agathe Azencott** Mines ParisTech • **Gilles Babinet** Entrepreneur • **Francis Bach** INRIA • **Emmanuel Bacry** Polytechnique • **Eric Baissus** Kalray • **Jérôme Balmes** Fédération Française de l'Assurance • **Philippe Baptiste** MESRI • **Franck Bardol** Meetups Intelligence artificielle • **Guillaume Barrat** Nvidia • **Adrien Basdevant** Lysias • **Cyrille Bataller** Accenture • **Nathalie Beaudemoulin** ACPR • **Michel Beaudouin-Lafon** Université Paris-Saclay • **Raphaël Beaufret** APHP • **Catherine Beauvois** CNEFOP • **Ugo Bellagamba** Université Nice Sophia Antipolis • **Michael Benesty** Editions Lefebvre Sarrut • **Alexandra Bensamoun** ELS • **Alain Bensoussan** Cabinet Bensoussan • **Alain Beretz** MESRI • **Alain Berger** Ardans • **Benoit Bergeret** Vinci • **Philippe Berna** Médiation des entreprises • **Claudine Bernfeld** Anadavi • **Geoffroy Berson** Ifé • **Thierry Berthier** Hub France IA • **Jean Bertin** BPI France • **Raphaëlle Bertolon** CFE-CGC • **Jean-Michel Besnier** Professeur à Paris IV • **Barbara Bessermann** Fédération Française de l'Assurance • **Pierre Bessière** ISIR • **Michel Bidoit** CNRS • **Pierre Bienvenu** ACPR • **Isabelle Bloch** Télécom ParisTech • **Patrick Blouet** STMicroelectronics • **Isabelle Bonnelie** SGMAP • **Antoine Bordes** Facebook • **Nozha Boujemaa** INRIA • **Jean-Philippe Bourgoin** MESRI • **Olivier Bousquet** Google • **Laurent Bouzène** MEDEF • **Anne Boyer** KIWI • **Fredrik Brag** Median Technology • **Bertrand Braunschweig** INRIA • **Luc Bretones** Orange • **Béatrice Brugues-Reix** Barreau de Paris • **Eric Bruillard** MiPNES • **Alexandre Cadain** X-Prize • **Yvanie Caille** INDS • **Guillaume Cali** BPI France • **Laura Calmore** France Digitale • **Céline Calvez** Délégation aux femmes à l'AN • **Marie-Paul Cani** INRIA • **Olivier Cappé** CNRS • **Isabelle Caputo** Thales VP PR • **Marie-Pauline Carpentier** ALIPTIC • **Marie-Claire Carrère-Gée** COE • **Thomas Carrier** Air Liquide • **Igor Carron** Meetups Intelligence artificielle • **Elian Carsenat** NamSor • **Maxime Cartan** Lumenogic • **Eléonore Cartillier** Assemblée nationale • **Eric Cassar** Arkns • **Claire Chalvidant** Orange • **Mathieu Changeat** Do You Dream Up • **Yannis Chaouche** Hub France IA • **Claude Chary** EM Armée de Terre • **Hervé Ciccelero** DGNUM • **Olivier Clatz** Therapixel • **Benoît Claveranne** AXA • **Stéphan Clemencon** Telecom Paris Tech • **Erich Clementi** IBM • **Pascal Clere** IRT SystemX • **Yves Cochet** Institut Momentum • **Laurent Cohen** Université Pierre et Marie Curie • **François Cojan** DGA • **Françoise Colaitis** Cap Digital • **Isabelle Collet** Sciences de l'éducation • **Pierre Collet** Icube Unistra • **Laure Comar** ELSAN • **Nicolas Conso** SGMAP • **Bernard Cottin** Caisse des Dépôts et Consignations (CDC) • **Antoine Couret** Hub France IA • **Georgie Courtois** De Gaulle Fleurance & Associés • **Emmanuel Cox** SNCF Réseau • **Marco Cuturi** ENSAE • **Laurent Cytermann** Conseil d'Etat • **Eric Dadian** AFRC • **Benoît Daigremont** DAJ • **Jean-Marc David** Renault • **David De Almeida** SNCF • **Gérard De Boisboissel** CREC Saint-Cyr • **Bertrand De Cordoue** Airbus • **Benoit De Dinechin** Kalray • **Yves**

De Gélard GDF/ENGIE • **Laure De la Bretèche** SGMAP • **Laure De la Raudière** Assemblée nationale • **Gilles De Margerie** France Stratégie • **Marie Defrance** INRS • **Paul-Olivier Dehaye** personaldata.io • **Romain Delassus** DGE • **François Delaunay** DFI Presse • **François Delerue** IRSEM • **Pierre Delort** Association des DSI • **Benjamin Delozier** Direction Générale du Trésor • **Jean-Baptiste Demaison** ANSSI • **Nicolas Demassieux** Orange • **Victor Demiaux** CNIL • **Marcin Detyniecki** AXA • **Erwan Deveze** Neuroperformance Consulting • **Laurence Devillers** CERNA • **Philippe Dewost** Vinci • **Stéphane Distinguin** IGF • **Dominique Donecamel** L'arbre de la connaissance • **Jean-Luc Dormoy** EDF • **Serge Doumain** DAJ • **Romain Drosnes** RefundMyTicket • **Paul Duan** Bob emploi • **Alexandra Dublanche** Région île de France • **Coralie Dubost** Assemblée nationale • **Frédéric Dufaux** Pascaline • **Bertrand Duflos** Cabinet Beau de Loménie • **Diane Dufoix-Garnier** IBM • **Elise Dufour** Cyberlex • **Philippe Duluc** ATOS • **Jean-Claude Dunyach** Airbus • **Jérôme Dupré** Cyberlex • **Sylvain Duranton** BCG • **Joëlle Durieux** Finance Innovation • **Antoine Dusséaux** Meetups Intelligence artificielle • **Quentin Ehrmann-Curat** Assemblée nationale • **Aymeric Elluin** Amnesty International • **Marko Erman** Thales • **Philippe Etienne** Do You Dream Up • **Fabrice Fages** Fédération bancaire française • **Isabelle Falque Pierrotin** CNIL • **Stéphane Fermigié** Abilian • **Hugues Ferreboeuf** The shift project • **Thibaut Ferrera** DGE • **Nadia Filali** Caisse des Dépôts et Consignations (CDC) • **Flora Fischer** Cigref • **Caroline Flaissier** Total • **Yann Fleureau** Cardiologs • **Cynthia Fleury** American University of Paris • **Fabrice Flipo** Institut Mines Telecoms • **Paula Forteza** Assemblée nationale • **Alexandre Fraiche** Union des étudiants juifs de France • **Marie Frenay** Commission européenne • **Emmanuel Frenod** SEE-D • **Eric Freyssinet** DGGN • **Alice Froidevaux** Qwantcube • **Florence G'sell** Université de Lorraine • **Olivier Galibert** LNE • **Jean-Gabriel Ganascia** Institut Pierre et Marie Curie • **Frédéric Garcia** INRA • **Patrick Garda** MESRI • **Carole Gay** Orange • **David Gayou** Quadrature du net • **Edouard Geoffrois** ANR • **Bernard Georges** Société Générale • **Pierre Germain** E-CUBE • **Ophélie Gerullis** Facebook • **Dominique Gillot** Sénat • **Isabelle Giri** Mines • **Claire Giry** INSERM • **Pierre Antoine Gourraud** Methodomix • **Fabrice Graignic** STMicroelectronics • **Laetitia Grail** myBlee Math • **Louis Granboulan** Airbus • **Jason Gras** CEA nouvelles technologies • **Michel Grévoul** Direction des achats de l'État • **Tom Gruber** Apple • **Alexandre Grux** Hyperlex Software • **Hubert Guillaud** Internet Actu • **Olivier Guillaume** Meetups Intelligence artificielle • **Nathalie Guin** ATIEF • **Engherrand Habran** FHF • **Bernard Hamelin** Sanofi • **Alexandre Hannebelle** Ava • **Jeremy Harroch** QuantMetry • **Tiphaine Havel** CNIL • **Eric Hazan** McKinsey • **Christine Hénion** Assemblée nationale • **Michel Hery** INRS • **Sébastien Heymann** Linkurio • **Rand Hindi** Snips • **Reid Hoffman** LinkedIn • **Stephanie Hospital** VC • **Olivier Houdé** CNRS • **Cécile Huet** Commission européenne • **Thanh-Long Huynh** QuantCube • **Arnault Loualalen** Numalis • **Henri Isaac** La Renaissance numérique • **Joichi Ito** MIT Media Lab • **Véronique Jacq** BPI France • **Eric Jallas** Fondateur ITK • **Lionel Janin** France Stratégie • **Philippe Jannet** Compagnie générale de numérique • **Bénédicte Javelot** Orange • **Mathieu Jeandron**

Direction du numérique pour l'éducation • **Jean-Baptiste Jeangène-Vilmer** IRSEM • **Patrick Johnson** Dassault Systèmes • **Laurent Joly** Lalilo • **Pierre Jourdan** Réalisateur • **Luc Julia** Samsung • **Cédric Kao** Ministère de l'agriculture • **Emmanuel Keita** Ifsttar • **Olivier Kempf** EM Armée de Terre • **Christine Keribin** Société Française de statistiques • **Philippe Kerignard** Bouygues Telecom • **David Knecht** MENESR • **Régis Koenig** Fnac Darty • **Haïm Korsia** Grand rabbin de France • **Thierry Koscielniak** EdTech • **Sébastien Koznieski** CNRS • **Jean-Paul Laborde** Fédération Française de l'Assurance • **Paul Labrogère** IRT SystemX • **Gregory Labrousse** NamR • **Sebastien Lafage** Isagri • **Sarah Lamoudi** Finance Innovation • **Jérémy Lamri** Monkey tie • **Edouard Lanckriet** Ecosys • **Hervé Lanouzière** Anact • **Emmanuelle Larroque** Socialbuilder • **Didier Lassauzay** CGT • **Renaud Lassus** Ambassade de France aux États-Unis • **Yves Laszlo** ENS • **Yves Laszlo** ENS • **Anne Laude** Université Paris Descartes • **Alexandre Laurent-Duhamel** Mouvement français pour le revenu de base • **Philippe Lavocat** GENCI • **Béatrice Layan** Fédération bancaire française • **Camille Le Douaron** Editions Lefebvre Sarrut SA • **Yves Le Querrec** AFNOR • **Eric Leandri** Qwant • **Yann LeCun** FAIR • **Thierry Lefort** Fujitsu • **Jean-François Legendre** AFNOR • **Maxime Legrand** Eduvalley group • **Roland Lehoucq** CEA • **Jérôme Lemaire** DGA • **Mathieu Lerondeau** VINCI • **Guillaume Leroy** Sanofi • **Yves Lévy** INSERM • **Nastazia Lieva** Meetups Intelligence artificielle • **André Loesekrug-Pietri** J.E.D.I. • **Andres Lopez-Vernaza** ACPR • **Jimmy Losfeld** FAGE • **Laure Lucchesi** Etalab • **Cyril Madelin** DGE • **Mathieu Mandon** DGE • **Erik Marcade** VP Advanced Analytics Products and Innovation SAP • **Gérard Mardiné** CFE-CGC • **Jean-Sébastien Mariez** TECH IN France • **Denis Masseglia** Assemblée nationale • **Christian Mathorel** CGT • **Groupe de travail Maths Médecine** Académie de Médecine • **Lionel Maurel** SavoirsCom1 • **Bruno Maurice** EMA OG TDA • **Julien-Henri Maurice** BazarChic • **Axel Mery** Fujitsu • **Nicolas Miailhe** The Future Society • **Emmanuel Mogenet** Google • **Jean-Luc Molins** UGICT-CGT • **Laurence Monnoyer-Smith** CGDD • **Fabien Monsallier** Banque Postale • **Jean Monteiller** Ecosys • **Pavlos Moraitis** Professeur • **François Moreau** Ministère de l'agriculture • **Lionel Morel** SavoirsCom1 • **Rémy Mosseri** CNRS • **Mathilde Mougeot** INSMI (CNRS) • **Yann Moulier-Boutang** UTC de Compiègne • **Fabien Moutarde** ParisTech • **Jean-Denis Muller** Veolia • **Julien Murésianu** Jalgos • **Anil Narassiguin** Meetups Intelligence artificielle • **Mathieu Nebra** Openclassroom • **Thanh Nghiem** Ingénieur • **Julien Nocetti** IFRI • **Bernard Nordlinger** Académie de Médecine • **Cédric Nozet** DGE • **Grégoire Odou** INCO • **Farid Oukaci** ACPR • **Adam Ouorou** Orange Labs • **Bernard Ourghanlian** Microsoft • **Somalina Pa** DGESCO • **Frank Pacard** Polytechnique • **Yann Padova** Baker & McKenzie Paris • **Serge Palaric** NVidia • **Laurent Pantanacce** X Brain • **Alexandre Papaemmanuel** Sopra Steria • **Nicolas Paparoditis** IGN • **Camille Parrat** TECH IN France • **Bruno Patino** ARTE • **Anne-Caroline Paucot** Les propulseurs • **Sophie Pène** CRI • **Ludovic Péran** Google • **Ségolène Perin** ELSAN • **Sylvain Pérone** Qwant • **Eric Perrin-Peltier** IRT SystemX • **Patrick Perrot** DGGN • **Eric Peters** Commission européenne • **Antoine Petit** CNRS • **Benjamin Pitcho** Barreau de Paris •

Yves Poilane Pascaline • **Dominique Polton** INDS • **Marc Pontaud** Météo France • **Claire Ponty** Fnac Darty • **Christian Poyau** MEDEF • **Benoît Praly** Domoscio • **Jean-Baptiste Prévost** Philosophe • **Isabelle Queval** Université de Paris Descartes • **Marine Rachline** The camp • **Kira Radinsky** EBay • **Olivier Raffard** Meetups Intelligence artificielle • **Jérôme Raguénès** Fédération bancaire française • **Sébastien Raspiller** Direction Générale du Trésor • **Gaëlle Recourcé** Cap Digital • **Philippe Regnard** La Poste • **Gaëlle Regnault** LearnEnjoy • **Delphine Remy-Boutang** Journée de la femme digitale • **Gregory Renard** X Brain • **Stephane Requena** GENCI • **Olivier Rey** Institut français de l'Éducation • **Olivier Rivière** Météo France • **Marie-Pierre Rixain** Assemblée nationale • **Yannick Rolland** ATOS • **Fernando Romao** Société PIQ • **Elettra Ronchi** OCDE • **Gilles Rouvier** Cyberlex • **Lara Rouyres** VisualBot • **Jean-Renaud Roy** Microsoft • **Jean-Michel Roy** Ens de Lyon • **Philippe Roy** Cap Digital • **Julie Rozé** Mouvement français pour le revenu de base • **Stuart Russel** UC Berkeley • **David Sadek** Institut Mines-Télécom • **Séverine Saint-Hubert** GENCI • **Hanan Salam** Women in AI • **Bernard Salha** EDF • **Eric Salobir** Optic • **Sylvie Sanchis** Police judiciaire de Paris • **Jordi Saniger-Paré** IETF • **Gadjendra Sarma** Gendarmerie Nationale • **Thomas Saunier** Malakoff Médéric • **Estelle Sauvat** Haut-commissariat à la transformation des compétences • **Eric Scherer** France Télévisions • **Thomas Schiex** Inra • **Patrice Schmidt** MEDEF • **Alban Schmutz** OVH • **Louis Schweitzer** Commissariat général à l'investissement • **Dominique Sciamma** Strate • **Michèle Sebag** CNRS • **Emile Servan-Schreiber** Lumenogic • **Jérome Servettaz** Gendarmerie de Pontoise • **François Sillion** INRIA • **Sharon Sofer** StartupforKids • **Christoph Sorger** Ex CNRS • **Bruno Sportisse** Skopai • **Laurent Stefan** IGF • **Laurent Stefani** Accenture • **Bernard Stiegler** IRI • **Philippe Stoop** ITK • **Paul Strachman** FranceIsAI • **Vincent Strubel** ANSSI • **François Taddéi** CRI • **Anne-Sophie Taillandier** Teralab • **Nicole Teke** Mouvement français pour le revenu de base • **Alexandre Templier** Quinten • **Denis Thirien** McGill School Of Computer Science • **Xavier Timbaud** OFCE • **Véronique Torner** Alterway • **Charles Torossian** Inspection de l'Éducation nationale • **Arnaud Touati** AltoAvocat • **Jaou Touré** Harvard • **Virginie Tournay** CNRS • **Felix Tréguer** Quadrature du net • **Claude Emmanuel Triomphe** Haut Commissariat à l'Éducation Civique • **Mohammed Adnène Trojette** Cour des comptes • **Alexei Tsygvintsev** ENS Lyon • **Alice-Barbara Tumpach** Université de Lille • **Dominique Turcq** Boostzone Institute • **Georges Uzbelger** IBM • **Guy Vallencien** Académie nationale de médecine • **Anne Varet** ADEME • **Nicolas Vayatis** CMLA • **Aude Vedrines** L'arbre de la connaissance • **Henri Verdier** Administrateur général des données • **Yves Verhoeven** ANSSI • **Aurélien Verleyen** Dataswati • **Jean-Philippe Vert** MINES ParisTech • **Julien Villalongue** Vinci • **Jean Villedieu** Linkurio • **Aude Vinzerich** EDF • **Damir Vodenicarevic** Centre de nanosciences et de nanotechnologies • **Marie-Hélène Vouette** GENCI • **Gilles Wainrib** Owkin ML • **Jérémie Wainstain** The Green Data • **Didier Warzee** ACPR • **Philippe Watteau** CEA • **Su Yang** ACPR • **Pierre Zegenbaum** AFIA • **Jonathan Zittrain** Harvard Law School • **Célia Zolynski** Université de Versailles • **Okhin** Quadrature du net •

Contributions reçues

Alexia Audevart Meetup IA de Toulouse • **Pascal Auscher** CNRS • **Florent Aziosmanoff** • **Michel Beaudouin-Lafon** Université Paris Sud • **Godefroy Beauvallet** Conseil général de l'économie • **Jean-Luc Belingard** Biomérieux • **Thierry Berthier** Université de Limoges • **Danièle Bourcier** CNRS • **Eric Bruillard** ENS Cachan • **Marie-Paule Cani** École Polytechnique • **Dominique Cardon** Sciences po • **Primavera De Filippi** CERSA • **Betrand Duflos** Beau de Loménie • **Claire Durand** Guerbet • **Antoine Dusséaud** Doctrine.fr • **Marie Ekeland** Daphni • **Valéria Faure-Muntian** Assemblée nationale • **Marco Fiorini** Alliance pour la recherche et l'innovation des industriels de la santé (Ariis) • **Marius Fieschi** Open Health Institute • **Louis Fleuret** Mission French Tech • **Thomas Friang** Open Diplomacy • **Florence G'sell** Sorbonne • **Ophélie Gerullis** Facebook FAIR • **Delphine Gomes de Sousa** Mission French Tech • **Jonathan Grizou** Inria • **Nathalie Guin** CNRS • **Daniel Kaplan** Sciences po • **Jérémy Lamri** Monkey Tie • **Rémy Mosseri** CNRS • **Patrick Olivier** ELSAN • **Jean-Yves Osel** Smart Building Alliance • **Frank Pacard** École polytechnique • **Olivier Paquet** Auteur • **Nicolas Patry** Kwyk • **Pierre Picard** Atos • **Luc Pierron** TerraNova • **Francois Pogodalla** Normal people • **Olivier Reynaud** Renaud • **Florence Rosenzweig** Hic & Nunc • **Dominique Sciamma** École STRATE • **Nathalie Sonnac** CSA • **Sébastien Soriano** Arcep • **Arnaud Touati** Alto Avocats • **Eric Toudy** Delos & Coeos • **Virginie Tournay** Cevipof • **Guillaume Vogt** CEA • **INRIA** • **CNRS-INS2I** • **Constance Bommelaer de Leusse** The Internet Society • **IRT SystemX** • **UGICT CGT** • **INRA** • **IGN** • **CERNA** • **SGMAP** • **BPI France** • **C2N** • **Afnor** • **Région Île-de-France** • **SFR CERF** • **INSERM** • **Think H+** • **L'arbre de la connaissance** • **Millerand Leclerc** • **ITK** • **E-cube** • **Therapixel** • **Cozycloud** • **Renaissance numérique** • **Soline Ledésert** Algotransparency • **Guillaume Chaslot** Algotransparency • **Frédéric Bardolle** Algotransparency • **Do you dream up** • **IBM** • **La Poste** • **Inco** • **McKinsey** • **Accenture** • **IESF** • **Décision performance conseil** • **Orange** • **NamR** • **Académie des technologies** • **Erwan Deveze** Neuroperformance consulting • **Pierre Germain** E-CUBE • **Eléonore Fougeron** EM Lyon • **Nicolas Leroux** Forrester • **Jacques Serris** CGEIET • **Hugo Ferreboeuf** The Shit Project • **Alain Berger** Ardans • **Jérôme Béranger** ADEL • **François Pogodalla** • **Stéphane Dhonte** Ordre des avocats de Lille • **Arthur Millerand** Avocat • **Michel Leclerc** Avocat • **Arnaud Muller** Saagie • **Jean-Marc David** Systematic Paris-Region • **Isabelle Collet** • **Henri Isaac** Renaissance numérique • **Julie Grollier** • **Philippe Etienne** Do you Dreem Up • **Henri-Corto Stoeklé** CEA • **Vincent Talvas** Arturia • **Jeremy Harroch** Quantmetry • **Loïc Etienne** Medical Intelligence Service • **Dominique Curis** Amnesty • **Chloé Azencott** • **Loïc Etienne** Clicsystem • **Stéphane Tisserand** MAIF • **Nicolas Meric** DreamQuark • **Claudine Bernfeld** ANADAVI • **Véronique Billat** • **David Gruson** ETHIK-IA • **Hub France IA** • **Emmanuel KEITA** Sundiata • **Frédéric Doche** DFCG • **Lucie Junet** Akka technologies • **Académie de Médecine** •



Cédric Villani

Mathématicien et député

Cédric Villani est un mathématicien français, ancien élève de l'ENS et docteur en mathématiques, titulaire 2010 de la Médaille Fields et lauréat 2014 du prix Doob. Professeur de l'université de Lyon, il a été professeur-invité d'universités étrangères et directeur de l'Institut Henri Poincaré de 2009 à 2017. Il est député de l'Essonne, siège à la commission des Lois et préside l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. Membre de l'Académie des sciences, il a publié plusieurs ouvrages dont « Théorème Vivant » traduit en 12 langues.

@VillaniCedric



Marc Schoenauer

Directeur de recherche INRIA

Marc Schoenauer est directeur de recherche Inria depuis 2001. Ancien élève de l'École Normale Supérieure, il a passé ensuite 20 ans comme chargé de recherche au CNRS, au Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Polytechnique, où il a également été enseignant à temps partiel. Il travaille depuis la fin des années 80 en Intelligence Artificielle, à la frontière entre optimisation stochastique et apprentissage automatique, et, en 2003, il a créé avec Michèle Sebag l'équipe-projet TAO (Thème Apprentissage et Optimisation), commune entre Inria, CNRS et Université Paris-Sud – aujourd'hui partenaires de l'Université Paris-Saclay. Il est co-auteur de plus d'une centaine d'articles, dirige ou a co-dirigé 35 doctorants et a été président de l'AFIA (Association Française pour l'Intelligence Artificielle) de 2002 à 2004.

@evomarc



Yann Bonnet

Secrétaire général du Conseil national du numérique

Ingénieur de formation (ISEP), Yann Bonnet a rejoint le Conseil national du numérique en mars 2013 en qualité de rapporteur général. En 2015, il devient secrétaire général. Il a été en charge du pilotage de la concertation nationale sur le numérique lancée par le Premier ministre en 2014 qui a eu comme résultat la loi République numérique. Yann Bonnet a notamment co-piloté les travaux sur la fiscalité numérique, la loyauté des plateformes, les questions liées aux négociations internationales entre les États-Unis et l'Union européenne.

@yann_bonnet



Charly Berthet
Responsable des affaires juridiques et institutionnelles
du Conseil national du numérique

Avocat de formation, Charly Berthet est responsable des affaires juridiques et institutionnelles du Conseil national du numérique. Il s'intéresse tout particulièrement aux enjeux liés à la régulation, à la protection des données et aux libertés publiques. Il a par ailleurs été consultant auprès du Ministère des affaires étrangères pour l'élaboration de la stratégie numérique internationale et est diplômé de l'université Paris II Panthéon-Assas et de l'université Paris Dauphine.

@charlyberthet



Anne-Charlotte Cornut
Rapporteur au Conseil national du numérique

Diplômée de Sciences Po et d'HEC, Anne-Charlotte Cornut est rapporteur au sein du Conseil national du numérique depuis avril 2016, où elle a principalement travaillé sur la transformation numérique des PME et la transformation numérique de l'enseignement supérieur et de la recherche. Elle était auparavant chargée de mission auprès de la direction de la société 1000mercis, spécialisée dans le marketing interactif.



François Levin
Responsable des affaires économiques et sociales
du Conseil national du numérique

François Levin a poursuivi des études en philosophie à l'ENS de Lyon et en administration publique à l'Université Paris I. Entré au Conseil national du numérique en 2015, il est responsable des affaires économiques et sociales et a particulièrement abordé les enjeux liés aux mutations du travail et de la formation, mais également à la culture et au droit d'auteur.



Bertrand Rondepierre
Ingénieur de l'armement, Direction générale de l'armement

Bertrand Rondepierre est un ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur diplômé de Télécom Paristech et titulaire du M2 Mathématique-Vision-Apprentissage de l'ENS Paris-Saclay. Ingénieur du Corps de l'armement en poste à la Direction générale de l'armement depuis 2015, il est architecte de projets touchant au numérique et à intelligence artificielle pour la Défense.

@BertrandRdp



Stella Biabiany-Rosier
Assistante de Direction du Conseil national du numérique

Stella Biabiany-Rosier a effectué sa carrière en tant qu'assistante de direction au sein de cabinets de conseil et d'avocats, puis dans des cabinets ministériels. Depuis juillet 2017, elle assiste le secrétariat général du Conseil national du numérique.

Donner un sens à l'intelligence artificielle

Pour une stratégie nationale et européenne

L'intelligence artificielle est entrée, depuis quelques années, dans une nouvelle ère, qui donne lieu à de nombreuses craintes et à de nombreux espoirs. Rendues possibles par des algorithmes nouveaux, la multiplication des jeux de données et le décuplement des puissances de calcul, les applications se multiplient : traduction automatique, conduite autonome, détection de cancer… Le développement de l'intelligence artificielle est amené à toucher l'ensemble des domaines et des secteurs. Les investissements dans la recherche et dans l'industrie atteignent des sommes extraordinaires, notamment aux États-Unis et en Chine. Les responsables politiques du monde entier l'évoquent dans les discours de politique générale comme un levier de pouvoir majeur.

C'est que l'intelligence artificielle va désormais jouer un rôle bien plus important que celui qu'elle jouait jusqu'alors et, plus que jamais, il nous faut donner un sens à son développement. Donner un sens, c'est d'abord donner une direction, un cap, pour positionner la France et l'Europe à l'avant-garde de cette révolution naissante. C'est également lui donner une signification : l'intelligence artificielle n'a précisément de sens que si elle participe du progrès humain, social et environnemental. Dans un monde marqué par les inégalités, elle ne doit pas conduire à renforcer les phénomènes d'exclusion et la concentration de la valeur. Donner un sens, c'est enfin expliquer : démystifier ces technologies auprès de la société, mais aussi expliquer l'intelligence artificielle en elle-même, s'agissant de techniques qui restent empreintes d'une très forte opacité.

Donner un sens à l'IA, voilà donc l'objectif de ce rapport.

CC BY SA

aiforhumanity.fr Mars 2018 ISBN : 978-2-11-145708-9